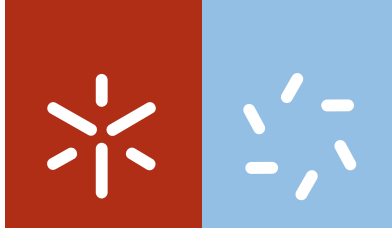


Universidade do Minho
Escola de Ciências

João Paulo Forte

**Avaliação quantitativa da geodiversidade:
desenvolvimento de instrumentos
metodológicos com aplicação ao
ordenamento do território**

julho de 2014



Universidade do Minho

Escola de Ciências

João Paulo Forte

**Avaliação quantitativa da geodiversidade:
desenvolvimento de instrumentos
metodológicos com aplicação ao
ordenamento do território**

Tese de Doutoramento em Ciências
Especialidade de Geologia

Trabalho realizado sob a orientação do

Professor Doutor José Bernardo Rodrigues Brilha

do

Professor Doutor Diamantino Manuel Ínsua Pereira

e da

Professora Doutora Marjorie Cseko Nolasco

AGRADECIMENTOS

Eis que chega aquele momento há muito esperado, onde, em duas curtas páginas, resumo quatro longos anos de agradecimentos. Mais do que um dever, trata-se de um humilde e honesto reconhecimento da minha parte a todas estas pessoas. Os primeiros agradecimentos vão para aqueles que, além de terem contribuído para que este trabalho chegasse a bom porto, me tornaram um profissional mais completo.

Ao Professor José Brilha, não só pelos ensinamentos, mas também pelo permanente acompanhamento e motivação. Obrigado também por ter dado tempo ao tempo quando isso era o que eu mais precisava!

Ao Professor Diamantino Pereira, pelos ensinamentos e pelo sentido crítico, o qual se reflectiu muito positivamente nos conteúdos da tese.

Ambos contribuíram para um excelente ambiente de trabalho, no Departamento de Ciências da Terra, da Universidade do Minho, onde me senti em casa e tive todo o apoio.

À Professora Marjorie Nolasco, pelos ensinamentos e à Universidade Estadual de Feira de Santana (Bahia, Brasil), que me recebeu durante 6 meses.

Ao pólo da Universidade do Minho do Centro de Geologia da Universidade do Porto, pelo apoio.

Ao Doutor António Dourado Rocha e ao Doutor Augusto Pedreira da Silva pelos ensinamentos proporcionados em Morro do Chapéu. Foi uma honra ter sido acompanhado por estes profissionais da geologia nos dias de campo, com o apoio do Centro Integrado de Estudos Geológicos (CIEG), dos Serviços Geológicos do Brasil (CPRM). À CPRM pela disponibilização de cartografia vectorial.

Ao Pedro Casinhas, geógrafo, pelo importante apoio nos Sistemas de Informação Geográfica, componente essencial nesta investigação.

À Câmara Municipal de Mafra, na pessoa de Bruno Miranda, pela cedência, para fins académicos, de toda a cartografia solicitada.

Ao Professor Fernando Monteiro, que, através da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, disponibilizou bibliografia e possibilitou importantes conhecimentos na temática dos solos.

À Professora Catarina Ramos, pela reunião com vista a debater a questão da hidrografia. Agradeço também à Professora Jocymara Lobão e ao Luís Silva, do Brasil, pela cedência de cartografia.

Ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), na pessoa de Fernando Sequeira, que disponibilizou a Notícia Explicativa da Folha 34B – Loures.

À Bruna e ao Cristiano, que me mostraram parte da beleza da Chapada Diamantina e me receberam em Igatú. Em Lençóis tive apoio de Ângela e de Luís Krug, que me mostraram mais algumas das belezas daquela região. Não esquecerei os dias na bela Chapada Diamantina.

Aos amigos Luís Gonçalves e Paulo Pereira, ambos Professores no DCT. O bom ambiente no DCT também a eles se deveu.

Ao Ramón Pellitero, pelo convite para um *brainstorm* sobre a geodiversidade, em 2012, com o colega Fernando Manosso e com o Professor Enrique Serrano, na Universidade de Valladolid.

Agradeço o apoio e a motivação, na fase de candidatura à bolsa de doutoramento, do Professor José Luís Zêzere e do Professor Gonçalo Vieira.

Não esqueço também a figura marcante do Professor Brum Ferreira, que influenciou decisivamente a minha paixão pela geografia física, facto que se reflecte na minha visão sobre a componente abiótica da natureza, aqui, em parte, traduzida.

Agora, num outro registo. O meu muito obrigado à Lucinda pela ajuda na tese e na sua formatação. Nos últimos quatro anos a nossa vida ficou condicionada pela tese, algo que não esquecerei. Agradeço ao pai, mãe e avó da Cinda, por, na sua casa, me terem proporcionado a base logística para esta operação que agora termina.

Mais uma vez tive a ajuda do Estêvão, agora Doutor, e da Ana, mais uma vez não esquecerei! O campo espera por nós!

À minha mãe e todos os meus bons amigos!

Não finalizo sem a referência ao meu fiel amigo Dragão, fisicamente desaparecido há 14 anos, precisamente no fim-de-semana em que fui para Lisboa, iniciar o meu percurso académico, que agora culmina.

RESUMO

Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território

A quantificação da geodiversidade é um tema recente no domínio da avaliação da diversidade natural. Enquanto que, nos primeiros trabalhos, a avaliação da geodiversidade se centrou apenas em alguns elementos da geodiversidade e maioritariamente em termos qualitativos, numa segunda fase, esta avaliação tem vindo a verificar-se ao nível da paisagem e em termos quantitativos. Esta perspectiva, mais abrangente em termos espaciais, vem possibilitar, de forma objectiva, a inclusão da geodiversidade, enquanto instrumento específico nos vários planos de ordenamento e gestão do território.

Os objectivos gerais deste trabalho centram-se na elaboração de um instrumento de avaliação quantitativa da geodiversidade e sua aplicação aos municípios de Mafra (Portugal) e Morro do Chapéu (Bahia, Brasil). A aplicação de um índice de geodiversidade, passível de utilização nos planos de ordenamento e gestão territorial, resulta numa expressão numérica da geodiversidade que representa uma variação espacial da diversidade natural abiótica. O índice proposto possibilita a quantificação da geodiversidade em vários territórios, com ou sem intuito comparativo, independentemente da escala utilizada.

A metodologia adoptada neste trabalho incluiu: pesquisa bibliográfica sobre as temáticas da geodiversidade e da biodiversidade; análise dos métodos de quantificação existentes para a geodiversidade e biodiversidade; análise e tratamento de cartografia em formato analógico e vectorial dos municípios de Mafra (PT) e de Morro do Chapéu (BR) às escalas 1:25 000 e 1:200 000, respectivamente; trabalho de campo e elaboração de um mapa geomorfológico, à escala 1:25 000, do município de Mafra; desenvolvimento de um novo método de quantificação da geodiversidade, usando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com base numa operação do tipo *overlay*, seguida de uma análise *Kernel*; aplicação do método proposto aos dois municípios.

Os principais dados obtidos mostram que, através da utilização de variáveis consideradas estruturantes, caso da geologia, geomorfologia e solos, é possível obter-se um padrão de geodiversidade base, representativo da variação espacial dos elementos naturais abióticos em

ambos os territórios. A utilização de variáveis não estruturantes, caso da rede hidrográfica e/ou das falhas, não compromete os resultados a escalas de maior pormenor, caso da 1:25 000. A escalas de menor pormenor, exemplo da 1:200 000, e no caso da densidade de falhas ser elevada, os resultados ficam enviesados, dada a comprovada sobrevalorização desta variável.

Os resultados obtidos demonstram que, apesar de não ter sido possível uma comparação directa entre territórios diferenciados e a escalas diferentes, é possível extrapolar a informação que permite afirmar qual o território com maior índice de geodiversidade. No caso de comparações entre territórios à mesma escala, os resultados indiciam para a validade das mesmas, desde que utilizados sistemas de classificação uniformizados para as diversas variáveis.

No caso de se pretender a comparação entre territórios à mesma escala, ou a escalas diferentes devidamente transpostas, é necessária a utilização das mesmas variáveis em ambos os termos da comparação, assim como a utilização dos dados desagregados ao respectivo nível mais adequado.

Fica também evidenciado o potencial do método que se torna de relativa fácil aplicação a nível nacional e internacional, por parte de utilizadores regulares de SIG, o que pode facilitar a sua integração nos SIG municipais. Este facto pode representar uma rápida e desejável replicação de um procedimento, com evidente importância no processo decisório, respeitante ao ordenamento e gestão do território.

ABSTRACT

Quantitative assessment of geodiversity: development of methodological tools applied to territorial management

The assessment of geodiversity is a recent issue concerning the evaluation of natural diversity. In the first approaches developed some years ago, the quantitative evaluation of geodiversity was applied to just a few geodiversity elements, mainly in a qualitative way. In a second more recent stage, this evaluation has been shifted to a landscape point of view and focusing quantitative aspects. With his wider perspective it is possible to include geodiversity as a specific and objective measure in territorial management plans.

The main aims of this research are the development of a method for the quantitative assessment of geodiversity and its application to the municipalities of Mafra (Portugal) and Morro do Chapéu (Bahia, Brazil). The use of a geodiversity index applied to land-use planning results in a numerical expression of geodiversity which represents the spatial variation of the natural abiotic diversity. This index allows the quantification of geodiversity in several territories, with or without comparative purposes and independently of the scale used during the analysis.

The methodology used in this research included: an extensive literature review concerning geodiversity and biodiversity; analysis on the existent geodiversity and biodiversity evaluation methods; examination of the mapping of the municipalities of Mafra (1:25 000) and Morro do Chapéu (1:200 000); field work and production of a geomorphological map of Mafra municipality (1:25 000 scale); development of a new method for geodiversity quantification, using Geographic Information Systems (GIS), starting with an overlay process and finishing with a Kernel analysis; and application of the method in both municipalities.

The main results show that, using fundamental variables as geology, geomorphology and soils, it is possible to obtain a spatial geodiversity standard that reflects the spatial variation of natural and abiotic elements on both territories. The use of non-essential variables, like hydrography and/or faults, does not compromise the results at more detailed scales as 1:25 000. For less detailed scales, like 1:200 000 and if the fault density is high, the geodiversity index could be biased due to an overvaluation of this variable.

The results show that, despite it was not possible to directly compare both territories at different scales, it is still possible to define which territory does have the higher geodiversity index. If the same scale is used in both territories, a comparison is possible, once we use the same standard classification systems for all variables.

The evidence shows the potential of this friendly GIS users method and that is easy to apply at a national and international level. Also an easy integration at a GIS municipality level. This could mean that this method could allow a quick replication of procedures, very important on territorial management policies.

The proposed method is easily applied by regular GIS users, which is a good indicator for a widespread application, national and internationally.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	<i>iii</i>
Resumo	<i>v</i>
Abstract	<i>vii</i>
Índice de figuras	<i>xiii</i>
Índice de tabelas	<i>xvii</i>
CAPÍTULO 1. Introdução	1
1.1. Apresentação do tema de tese	3
1.2. Objectivos e metodologias	5
1.3. Estrutura da dissertação	7
CAPÍTULO 2. Geodiversidade: conceptualização	11
2.1. Evolução do conceito de geodiversidade	13
2.1.1. Diversidade geológica e geomorfológica	18
2.1.2. Diversidade de solos e pedodiversidade	19
2.1.3. Relação entre paisagem e geodiversidade	24
2.2. Os valores da geodiversidade	27
2.2.1. Valor intrínseco	30
2.2.2. Valor cultural	31
2.2.3. Valor estético	32
2.2.4. Valor económico	33
2.2.5. Valor funcional	34
2.2.6. Valor científico e educativo	35
2.3. Ameaças à geodiversidade	36
2.3.1. Exploração de recursos geológicos	37
2.3.2. Desenvolvimento de obras e estruturas	38
2.3.3. Florestação, desflorestação e agricultura	39
2.3.4. Actividades turísticas e recreativas	41
2.3.5. Recolha de amostras geológicas para fins não científicos	41
2.3.6. Iliteracia cultural	42

CAPÍTULO 3. Estratégias para a protecção e valorização da geodiversidade	45
3.1. A importância da componente legislativa na gestão da geodiversidade	47
3.2. O exemplo português	49
3.3. O exemplo internacional	54
3.3.1. Planos de acção para a geodiversidade	60
3.3.2. Planos de acção local para a geodiversidade	61
3.3.3. Plano de acção nacional para a geodiversidade	64
CAPÍTULO 4. Avaliação da biodiversidade e relações com a geodiversidade	67
4.1. O conceito de biodiversidade	69
4.2. O intuito dos estudos de quantificação da biodiversidade	72
4.3. Métodos de quantificação da biodiversidade	75
4.4. Análise de conjunto dos métodos	82
4.5. Relações entre a biodiversidade e a geodiversidade	84
CAPÍTULO 5. Geodiversidade: avaliação	99
5.1. O âmbito da avaliação da geodiversidade	101
5.2. Avaliação quantitativa da geodiversidade	102
5.3. Métodos quantitativos para a avaliação da geodiversidade	105
5.3.1. Método de Xavier-da-Silva <i>et al.</i> (2001)	105
5.3.2. Método de Carcavilla <i>et al.</i> (2007)	109
5.3.3. Método de Serrano & Flaño (2007)	117
5.3.4. Método de Benito-Calvo <i>et al.</i> (2009)	120
5.3.5. Método de Zbigniew (2009)	124
5.3.6. Método de Hjort & Luoto (2010)	130
5.3.7. Método de Manosso (2012)	136
5.3.8. Método de Ondicol (2012)	138
5.3.9. Método de Pereira <i>et al.</i> (2013)	141
5.3.9.1. Desenvolvimentos do método	142
5.3.10. Outros métodos	146
CAPÍTULO 6. Enquadramento das áreas de estudo: Mafra (Portugal) e Morro do Chapéu (Brasil)	149
6.1. Município de Mafra – Portugal	151

6.1.1. Enquadramento geográfico	151
6.1.2. Características gerais do clima	152
6.1.3. Enquadramento Geológico	153
6.1.4. Enquadramento geomorfológico	157
6.1.4.1. Elaboração do mapa de unidades geomorfológicas	162
6.1.5. Caracterização pedológica	168
6.2. Município de Morro do Chapéu – Brasil	170
6.2.1. Enquadramento geográfico	170
6.2.2. Características gerais do clima	171
6.2.3. Enquadramento geológico	172
6.2.4. Enquadramento geomorfológico	176
6.2.5. Caracterização pedológica	182
6.3. Enquadramento dos sistemas de classificação de solos	183
6.3.1. A classificação dos solos	184
6.3.2. A classificação de solos de Portugal	185
6.3.3. A classificação de solos do Brasil	187
6.3.4. Classificação de solos da Base de Referência Internacional para os Solos (WRB)	189

CAPÍTULO 7. Avaliação quantitativa da geodiversidade dos municípios de Mafra e

Morro do Chapéu	193
<hr/>	
7.1. Áreas e escalas de trabalho	195
7.2. Validação da cartografia vectorial	199
7.2.1. Rede hidrográfica do município de Mafra	201
7.2.2. Classificação de Strahler	203
7.2.3. Rede hidrográfica do Município de Morro do Chapéu	208
7.3. Aplicação da metodologia de avaliação quantitativa da geodiversidade	211
7.3.1. Município de Mafra	212
7.3.2. Análise dos mapas de índices de geodiversidade de Mafra	216
7.3.3. Município de Morro do Chapéu	225
7.3.4. Análise dos mapas de índices de geodiversidade de Morro do Chapéu	229
7.4. Análise da informação paleontológica	237
7.5. Análise estatística complementar	240

CAPÍTULO 8. Considerações finais	243
8.1. Síntese e discussão crítica do trabalho desenvolvido	245
8.2. Limitações inerentes ao processo de análise espacial	247
8.3. Propostas de investigações futuras	250
Bibliografia	253
Anexos	283

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. – Exemplo ilustrativo da hierarquização dos conceitos de geodiversidade, património geológico e património geomorfológico (Forte, 2008)	19
Figura 4.1. – Esquema representativo da complexidade inerente ao conceito de biodiversidade (Duelli & Obrist, 2003)	70
Figura 4.2. – Mapa representativo da correlação entre um índice de geodiversidade e um índice de biodiversidade (Silva, 2012)	95
Figura 4.3. – Resultados preliminares do cálculo da geodiversidade na Colômbia, conjuntamente com a riqueza de espécies, mamíferos, aves e anfíbios (Parks & Mulligan, 2010)	97
Figura 5.1. – Padrões teóricos de geodiversidade (Carcavilla <i>et al.</i> , 2007)	117
Figura 5.2. – Procedimento metodológico para a avaliação da geodiversidade regional da Península Ibérica (Benito-Calvo <i>et al.</i> , 2009)	121
Figura 5.3. – Fluxograma ilustrativo das três fases de criação do mapa da geodiversidade das formas de relevo (Zbigniew, 2009)	127
Figura 5.4. – Mapa do índice de geodiversidade da Serra do Cadeado, sobre relevo sombreado (Manosso, 2012)	137
Figura 5.5. – Processo de cálculo da geodiversidade (Ondicol, 2012)	139
Figura 5.6. – Mapa de geodiversidade do Maciço de Fuentes Carrionas (Ondicol, 2012)	140
Figura 5.7. – Mapa do índice de geodiversidade para o Estado do Paraná (Pereira <i>et al.</i> , 2013)	142
Figura 5.8. – Exemplo de índices de geodiversidade, parcial e total, numa área de elevada geodiversidade situada na bacia hidrográfica do rio Xingu (Silva, 2012)	144
Figura 5.9. – Mapa final dos índices de geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Xingu (Silva, 2012)	145
Figura 5.10. – Mapa de geodiversidade da Islândia	146
Figura 5.11. – Mapa de distribuição da variedade de formações litológicas da Islândia	147
Figura 6.1. – Mapa de enquadramento do concelho de Mafra em Portugal Continental	151
Figura 6.2. – Gráfico termo-pluviométrico da estação meteorológica de Sintra/Granja	152
Figura 6.3. – Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana, com definição de sectores (Kullberg, 2006)	154

Figura 6.4. – Unidades litoestratigráficas da Bacia Lusitaniana (<i>in</i> : Kulberg, 2000 – adaptado de GPEG (1986), Rocha <i>et al.</i> (1996), Rasmussen <i>et al.</i> (1998) e Rey (1999))	156
Figura 6.5. – Unidades morfológicas de 3 ^º nível, segundo o método de Ross (1992)	157
Figura 6.6. – Vista sobre sector noroeste do município de Mafra, a partir da serra de Nossa Sr ^a do Socorro	158
Figura 6.7. – Vista sobre os relevos dissecados, localizados a SE de Sobral da Abelheira	158
Figura 6.8. – Perspectiva sobre um vale de fundo plano, no sector terminal do rio Lizandro	159
Figura 6.9. – Vista sobre os relevos salientes, localizados a sul da vila da Malveira	159
Figura 6.10. – Perfis topográficos de Ribeira de Ilhas-Mafra (corte AB) e de Enxara do Bispo-Montemuro (corte CD) assinalados na figura 6.5.	160
Figura 6.11. – Representação estatística do relevo do município de Mafra, com base nas unidades estabelecidas no mapa geomorfológico (anexo 6.01)	161
Figura 6.12. – Imagens ilustrativas do processo de criação de um TIN, onde na primeira imagem constam os vértices (pontos) e arestas e na segunda constam os vértices, as arestas e as faces criadas através da interpolação de <i>Delaunay</i>	162
Figura 6.13. – Estruturação das formas de relevo a várias escalas, por taxon (Ross, 1992)	164
Figura 6.14. – Tipologia das categorias consideradas na elaboração do mapa geomorfológico	166 a 168
Figura 6.15. – Mapa de enquadramento do Município de Morro do Chapéu na América do Sul	170
Figura 6.16. – Gráfico termo-pluviométrico de Morro do Chapéu	171
Figura 6.17. – Unidades proterozóicas que ocorrem na região de Morro do Chapéu (Rocha & Costa, 1995)	173
Figura 6.18. – Detalhe das associações de fácies e ambientes deposicionais das unidades proterozóicas que ocorrem em Morro do Chapéu (Rocha & Costa, 1995)	174
Figura 6.19. – Planalto de Morro do Chapéu, visto da Unidade Vão dos Córregos, localizada a Sul da Unidade Plano do Morro do Chapéu	179
Figura 6.20. – Vista sobre a escarpa do Tombador, a partir da estrada BR 324	180
Figura 7.1. – Modelo conceptual da quantificação da geodiversidade, aplicada aos municípios de Mafra e Morro do Chapéu	196
Figura 7.2. – Imagem ilustrativa do processo de validação topológica da rede hidrográfica do município de Mafra	202
Figura 7.3. – Largura dos canais da bacia hidrográfica do Rio Lizandro; os números presentes em cada uma das imagens referem-se à Ordem de <i>Strahler</i>	204

Figura 7.4. – Largura dos canais da bacia hidrográfica do Rio Trancão; os números presentes em cada uma das imagens referem-se à Ordem de <i>Strahler</i>	205
Figura 7.5. – Imagens relativas à mesma área do Rio Lizandro, no seu sector terminal, sem (A) e com buffers (B) aplicados à rede hidrográfica classificada segundo o método de <i>Strahler</i>	206
Figura 7.6. – Imagens que resultam do processo de <i>dissolve</i> (B), relativo ao <i>buffer</i> (A) efectuado num sector intermédio do Rio Lizandro	207
Figura 7.7. – Imagem ilustrativa do processo de passagem de <i>multiparts</i> para <i>singleparts</i>	207
Figura 7.8. – imagens ilustrativas da comparação da rede hidrográfica da bacia do Safarujó, Mafra, classificada segundo Strahler, para as escalas 1:25 000 e 1:100 000	210
Figura 7.9. – Figura ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, através das operações de <i>overlay</i> , atribuição de centróides aos polígonos gerados e análise <i>kernel</i>	211
Figura 7.10. – Imagem ilustrativa da utilização de <i>search radious</i> com 50 metros (A) e 500 metros (B), respectivamente, para o município de Mafra	214
Figura 7.11. – Imagem ilustrativa do processo de reclassificação através do método de Jenks	215
Figura 7.12. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente baixos índices de geodiversidade, numa área proximal ao lugar de Barril, Mafra	217
Figura 7.13. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente elevados índices de geodiversidade, numa área proximal ao lugar de S. Lourenço, Mafra	218
Figura 7.14. – Gráfico decorrente da análise do padrão do mapa clip_nc4 (anexo 7.04), efectuado com a ferramenta <i>high/low neighbor</i> (<i>Getis-Ord General G</i>)	220
Figura 7.15. – Mapas resultantes de 5 testes realizados no município de Mafra, não comparáveis com Morro do Chapéu, utilizando os primeiros 5 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.1.	222
Figura 7.16. – Mapas resultantes de 2 testes, comparáveis com Morro do Chapéu, utilizando os últimos 2 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.1.	223
Figura 7.17. – Imagem ilustrativa do processo “ <i>clip</i> ”, através do <i>Geospatial Modelling Environment</i>	228
Figura 7.18. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente baixos índices de geodiversidade, numa área situada a SE da cidade de Morro do Chapéu	230

Figura 7.19. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente elevados índices de geodiversidade, numa área situada a SO da cidade de Morro do Chapéu	232
Figura 7.20. – Gráfico decorrente da análise do padrão do mapa clipcbr_20, efectuado com a ferramenta <i>high/low neighbor (Getis-Ord General G)</i>	234
Figura 7.21. – Mapas resultantes de 4 testes, não comparáveis com Mafra, utilizando os primeiros 4 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.3.	235
Figura 7.22. – Mapas resultantes de 2 testes, comparáveis com Mafra, utilizando os últimos 2 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.2.	236

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1. – As principais medidas de biodiversidade, segundo Gray (2004)	83
Tabela 4.2. – Analogia entre biodiversidade e geodiversidade (Sai & Marafa, 2009)	86
Tabela 4.3. – Funções geomórficas chave criadas pela vegetação existente em vertentes (Marston, 2010)	94
Tabela 5.1. – Indicadores de Geodiversidade (Xavier-da-Silva <i>et al.</i> , 2001)	106
Tabela 5.2. – Matriz de correlações não paramétricas (Coeficiente de <i>Spearman</i>) (Xavier-da-Silva <i>et al.</i> , 2001)	109
Tabela 5.3. – Valores limite das classes de geodiversidade (Serrano & Flaño, 2007)	118
Tabela 5.4. – Categorias dos elementos abióticos analisados (Serrano & Flaño, 2007)	119
Tabela 5.5. – Valores da geodiversidade associados às unidades geomorfológicas (Serrano & Flaño, 2007)	120
Tabela 5.6. – Categorização da geodiversidade no contexto da fragmentação/segmentação do relevo (Zbigniew, 2009)	128
Tabela 5.7. – Categorização da geodiversidade no contexto da preservação do relevo (Zbigniew, 2009)	129
Tabela 5.8. – Elementos de geodiversidade inventariados e número total de quadrículas presente, a uma resolução de 500×500 m (Hjort & Luoto, 2010)	134
Tabela 5.9. – Quantificação dos elementos da geodiversidade, por compartimento de paisagem e o índice de riqueza (Manosso, 2012)	138
Tabela 6.1. – Primeiro nível categórico (Ordem) do sistema de classificação de solos brasileiro, com os respectivos elementos formativos e termos de conotação (Embrapa, 2006)	188
Tabela 6.2. – Chave de relação para com os Grupos de referência da WRB (2006)	190
Tabela 6.3. – Transposição das Ordens/Subordens da Classificação de Solos Portuguesa (CSP) utilizando a World Reference Base for Soil Resources (WRB)	191
Tabela 7.1. – Valores padrão relativos à largura dos canais analisados	203
Tabela 7.2. – Cartas utilizadas para a classificação de <i>Strahler</i> da rede hidrográfica relativa ao município de Morro do Chapéu	208
Tabela 7.3. – Correspondência de valores da largura de canal às escalas 1:25 000 e 1:200 000, para a classificação de <i>Strahler</i>	209
Tabela 7.4. – Número de fósseis existentes, por litologia, no município de Mafra	239

Tabela 7.5. – Número de fósseis existentes, por unidade estratigráfica, no município de Morro do Chapéu	240
---	-----

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do tema de tese

A quantificação da diversidade ambiental é uma temática que tem sido objecto de intenso debate académico, teorizado e consolidado no século XX, particularmente na sua segunda metade, tendo-se centrado essencialmente em redor da componente biótica da Natureza (Gray, 2004).

A revolução industrial, ocorrida no século XIX, abriu caminho a modificações na superfície terrestre a uma escala até então sem precedentes. Dados os notórios impactos destas transformações, surgiu uma maior e concreta consciencialização pública sobre a degradação que ocorria em extensas áreas ou locais com reconhecido valor patrimonial (Velho, 2006).

A Cimeira do Rio, ocorrida em 1992, representou um marco decisivo no domínio da conservação da natureza (Pearce & Moran, 1994). O termo biodiversidade popularizou-se, servindo doravante como bandeira do movimento ambientalista, possibilitando deste modo uma maior visibilidade e reconhecimento por parte da opinião pública, cada vez mais informada e consciente dos valores associados à biodiversidade (Lévêque, 2001). Este facto levou inevitavelmente à disseminação deste termo pela política e consequente assimilação nos vários planos de ordenamento e gestão territorial (Carcavilla *et al.*, 2007).

A um crescendo de popularidade, correspondeu um aumento de meios financeiros e técnicos, os quais visaram apoiar a, agora, urgente necessidade de quantificar a biodiversidade, nomeadamente em áreas de reconhecido valor biológico, caso de áreas protegidas (Dinerstein *et al.*, 2000; Olson & Dinerstein, 2002).

O advento dos Sistemas de Informação Geográfica, vulgo SIG, ocorrido na última década do século XX, trouxe consigo toda uma panóplia de ferramentas de apoio à análise espacial. Estas potenciaram novas formas de analisar e processar uma cada vez maior diversidade e volume de informação geográfica (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001). Este facto revela-se como fundamental, já que a quantificação da heterogeneidade ambiental é uma questão particularmente problemática, dada a complexidade que lhe é associada (Gustafson, 1998). Análises até então inexequíveis de efectuar, tornaram-se possíveis e rápidas, o que levou à multiplicação de formas de cálculo, através da geoestatística. Surgiram dezenas de índices, os quais permitiam agora avaliar de forma objectiva onde a diversidade ambiental era maior ou menor (Gspurning & Sulzer, 2007).

Contudo, e do ponto de vista da conservação da Natureza, tratava-se ainda de uma forma redutora de análise, já que esta se centrava em redor da componente biótica da Natureza. Faltava a consideração sobre a geodiversidade, conceito opoente ao de biodiversidade e que surgiu no início da década de 90, do século XX (Gray, 2004; Panizza, 2007).

O conceito de geodiversidade foi desenvolvido ligado ao conservacionismo, inicialmente restrito à comunidade geológica (Serrano & Flaño, 2007; Gray, 2008; Johansson *et al.*, 1999). Actualmente é um conceito relativamente bem teorizado e com uma base conceptual sólida (Bruschi, 2007; Gray, 2008). Contudo, a geodiversidade é um aspecto novo na conservação da natureza, facto que se afigura como desafiante em termos da sua integração no domínio do ordenamento e gestão do território.

Ao contrário da biodiversidade, que tem já desenvolvida toda uma série de métodos de quantificação, a geodiversidade tem ainda um longo caminho a percorrer neste domínio (Xuelei *et al.*, 2003). São ainda escassos os esforços em prol da quantificação da geodiversidade (Serrano & Flaño, 2007; Hjort & Luoto, 2010), tema central desta tese, o que se reflecte num número muito reduzido de métodos de quantificação da mesma.

A quantificação da geodiversidade é, assim, um tema recente no domínio da avaliação da componente abiótica da natureza, sendo que a maioria dos estudos relacionados com o mesmo se desenvolveu apenas na última década (Manosso, 2012). Numa primeira fase, e ainda que de uma forma claramente redutora, o âmbito da avaliação da geodiversidade, centrou-se apenas em alguns dos elementos da geodiversidade, concretamente geossítios, maioritariamente numa perspectiva qualitativa. Já numa segunda fase, e de acordo com a bibliografia referenciada no capítulo 5, este âmbito tem vindo a centrar-se na paisagem e em termos quantitativos, através da análise integrada de vários elementos da geodiversidade, nomeadamente a geologia, a geomorfologia e os solos. Esta última perspectiva, mais abrangente no domínio temático, veio possibilitar, de forma objectiva, embora ainda não efectivada, a inclusão da geodiversidade, enquanto ferramenta específica, nos vários planos de ordenamento e gestão do território (Benito-Calvo *et al.*, 2009).

O desenvolvimento de índices numéricos, indicadores da diversidade e relevância do substrato abiótico, reveste-se de primordial importância, pois estes, através da expressão numérica da geodiversidade, possibilitam, de uma forma objectiva, a sua inserção efectiva no domínio do ordenamento e gestão do território (Nieto, 2004; Serrano & Flaño, 2007; Ruban, 2010). A geodiversidade tem assim um papel chave em termos de contribuição para o denominado desenvolvimento sustentável, tanto à escala global como à escala local (Gray, 2004).

No entanto, há uma questão que ainda não se encontra completamente resolvida: como quantificar a geodiversidade? Com efeito, este é um tema complexo e que merece uma profunda reflexão.

A escolha dos critérios a serem avaliados e a escala a que se deve fazer a respectiva quantificação constituem-se como dois dos principais desafios na definição de uma metodologia de avaliação da geodiversidade. A determinação de índices de geodiversidade é importante não só do ponto de vista conceptual como aplicado (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001). À semelhança do que é feito actualmente para a biodiversidade, os índices de geodiversidade podem constituir importantes instrumentos no momento de definir opções relacionadas com o ordenamento do território (Nieto, 2001).

Uma deficiente gestão da geodiversidade afigura-se como muito negativa para a economia global (Stace & Larwood, 2006), não esquecendo também que esta é a base da própria biodiversidade (Gray, 2004).

O desenvolvimento de métodos de quantificação da geodiversidade, baseados nos SIG, revela-se deste modo como fundamental para a prossecução de políticas de base territorial (Zbigniew, 2009), daí a pertinência e importância desta questão agora desenvolvida. A elaboração de mapas de fácil e imediata leitura permite uma igualmente clara e pronta percepção da variação dos valores da geodiversidade, identificando, por exemplo, áreas prioritárias para a conservação da Natureza e da paisagem, ou então áreas de maior potencial turístico.

A integração dos resultados da quantificação da geodiversidade com os resultados da quantificação da biodiversidade apresenta-se também como uma mais-valia para o ordenamento do território (Lawrence *et al.*, 2007; Hjort & Luoto, 2010). Contudo, este facto só será possível depois de um acentuado desenvolvimento dos métodos de quantificação da geodiversidade.

1.2. Objectivos e metodologias

Os objectivos gerais deste trabalho centram-se na elaboração de um instrumento de avaliação quantitativa da geodiversidade, aplicado aos municípios de Mafra, Portugal (PT) e Morro do Chapéu, no Brasil (BR). Pretende-se a sua posterior aplicação aos vários planos de ordenamento e gestão do território, onde, na forma de mapas, se reconhece, de forma inequívoca, a variação espacial da geodiversidade a escalas diferenciadas.

São objectivos específicos:

- Compilar e analisar toda a informação publicada relacionada com a avaliação quantitativa da geodiversidade;

- Definição dos critérios a serem quantificados no processo de avaliação da geodiversidade, com adaptação a diversas escalas;
- Identificação dos constrangimentos e limitações inerentes ao processo de quantificação de elementos naturais heterogéneos e com diversos níveis de conhecimento;
- Utilização dos princípios de modelagem espacial na determinação de índices de geodiversidade;
- Desenvolvimento de metodologias de modo a automatizar procedimentos de quantificação baseados em sistemas de informação geográfica;
- Desenvolvimento de modelagens e respectivas representações dos índices de geodiversidade calculados para as áreas piloto;
- Testar e aplicar a metodologia proposta nas duas áreas de trabalho, Mafra (PT) e Morro do Chapéu (BR), de forma a verificar a resposta do método desenvolvido em áreas com diversos enquadramentos e condicionantes;
- Promover a integração de parâmetros associados com a geodiversidade nos instrumentos de gestão territorial;
- Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da geodiversidade com aplicação directa a qualquer escala e região do globo, assegurando o interesse na divulgação internacional dos resultados obtidos e no seu eventual desenvolvimento noutros países.

A metodologia adoptada neste trabalho incluiu: pesquisa sobre as temáticas da geodiversidade e da biodiversidade a nível internacional e nacional; análise das metodologias de quantificação da geodiversidade e da biodiversidade já propostas; análise de cartografia nos formatos analógico e vectorial; trabalho de campo e elaboração de um mapa geomorfológico, à escala 1:25 000, para o município de Mafra; desenvolvimento de uma nova metodologia de quantificação da geodiversidade, baseada inicialmente numa operação do tipo *overlay*, seguida de uma conversão da geometria e posterior análise *Kernel*; aplicação da metodologia proposta nos municípios de Mafra (PT) e de Morro do Chapéu (BR) às escalas 1:25 000 e 1:200 000, respectivamente.

1.3. Estrutura da dissertação

Após esta exposição dos objectivos e sucinta descrição da metodologia do trabalho, passamos a um breve comentário acerca da organização geral da dissertação, a qual se divide numa primeira parte, de base eminentemente teórica, e numa segunda parte, de base fundamentalmente prática e aplicada. Ambas estão intrinsecamente interligadas, através do processo de análise espacial, do qual se apresentam os passos fundamentais:

1. Estabelecimento do objectivo base – quantificação da geodiversidade – e estruturação das questões enunciadas;
2. Reunir, organizar e preparar a informação para análise;
3. Construção do modelo de análise através do geoprocessamento;
4. Executar o modelo e geração de resultados;
5. Explorar, avaliar, interpretar e analisar os resultados obtidos;
6. Concluir, decidir e documentar os resultados;
7. Apresentação dos resultados.

Referentes à primeira parte, teórica, estão os primeiros cinco capítulos, sendo que o primeiro destes pretende introduzir o tema e justificar a pertinência do mesmo, particularmente em termos de investigação aplicada ao ordenamento do território.

No segundo capítulo, faz-se uma conceptualização do conceito de geodiversidade, procurando mostrar não só a juventude do conceito, bem como as principais definições apresentadas até à data de conclusão deste trabalho. Procura-se igualmente mostrar a relação deste conceito com a diversidade geológica, geomorfológica e diversidade de solos. A sua relação com a paisagem é também destacada.

Ainda neste capítulo, destacam-se os valores da geodiversidade, os quais justificam a necessidade da sua preservação e apresentam-se as principais ameaças à geodiversidade.

No terceiro capítulo, descrevem-se algumas das principais estratégias, a nível internacional e nacional, para a protecção e valorização da geodiversidade. Destacam-se os países mais avançados no domínio da geoconservação, bem como as boas práticas associadas aos mesmos. Os planos de acção para a geodiversidade têm aqui um destaque, em termos de descrição, que se julga pertinente e justificado.

No quarto capítulo, faz-se uma conceptualização do conceito de biodiversidade, procurando mostrar não só a sua forte base conceptual, bem como as principais definições apresentadas.

Aborda-se também a questão da avaliação da biodiversidade, bem como a sua relação com a geodiversidade. São destacados os principais métodos utilizados na quantificação da componente biótica da Natureza, de modo a aferir sobre a eventual validade dos mesmos para a quantificação da componente abiótica. Efectua-se também uma breve análise da geodiversidade e da biodiversidade, enquanto partes integrantes da diversidade natural.

No quinto capítulo são abordadas as componentes qualitativa e quantitativa da avaliação da geodiversidade, a primeira de forma sucinta e a segunda de uma forma aprofundada, dado o âmbito e objectivos deste trabalho. Numa base eminentemente descritiva, são apresentados os principais métodos quantitativos para a avaliação da geodiversidade, apresentados até meados de 2013. Apesar de existirem algumas semelhanças entre métodos, todos eles representam formas diferenciadas de análise quantitativa de elementos da geodiversidade, nomeadamente a nível geológico, geomorfológico e pedológico.

Já referente à segunda parte, mais prática e aplicada, e no sexto capítulo, procede-se aos necessários enquadramentos das duas áreas de estudo, o município de Mafra (PT) e o município de Morro do Chapéu (BR). Partindo dos enquadramentos geográfico e climático de ambas as áreas piloto, procede-se aos enquadramentos geológico, geomorfológico e pedológico respectivos. Descreve-se todo o processo de elaboração do mapa geomorfológico para o município de Mafra, documento este inédito. Na parte final deste capítulo, são destacadas as classificações de solos de Portugal e do Brasil, bem como a classificação de solos da Base de Referência Internacional para os Solos. Esta análise complementar, a nível de solos, reveste-se de especial importância, pois os sistemas de classificação de solos têm de sofrer um processo de reclassificação, caso haja o intuito de comparar sistemas diferenciados, como é o caso de Portugal e do Brasil.

No sétimo capítulo, procede-se à avaliação quantitativa da geodiversidade dos municípios de Mafra (PT) e de Morro do Chapéu (BR). São aqui apresentados os passos que levaram ao desenvolvimento e aplicação de um método que tem como base o estabelecimento de um índice numérico, indicador da diversidade e relevância do substrato abiótico, ou seja indicador da geodiversidade. Na primeira parte deste capítulo, é apresentada a forma como a informação cartográfica devidamente preparada para a modelação espacial. Já na segunda parte deste capítulo, é explanado todo o procedimento de processamento que levou à criação do índice de geodiversidade proposto.

Cabe ainda salientar que, devido à condicionante escala, boa parte dos mapas produzidos no âmbito deste capítulo teve de ser relegada para os anexos, dada a dimensão dos mesmos.

No oitavo, e último capítulo, são sistematizados os resultados decorrentes da aplicação desta nova metodologia de avaliação quantitativa da geodiversidade. Promove-se igualmente a discussão em torno destes mesmos resultados.

Capítulo 2

GEODIVERSIDADE: CONCEPTUALIZAÇÃO

2.1. Evolução do conceito de geodiversidade

Apesar de ser um conceito com apenas duas décadas, a geodiversidade é algo que nos acompanha no nosso dia-a-dia. Desde a utilização de materiais geológicos nos mais variados instrumentos que utilizamos, caso por exemplo do telemóvel, até às paisagens que nos unem a cada ano de trabalho e/ou lazer, a geodiversidade é algo omnipresente em todas as sociedades e com influência directa nos mais variados domínios.

Desta forma, a geodiversidade é transversal à sociedade, seja ela, dita, avançada ou primitiva. Stace & Larwood (2006) referem esta mesma importância de uma forma estruturante, ao destacarem a geodiversidade enquanto geradora do carácter do Reino Unido.

Apesar de a geodiversidade ser, afinal, a base da biodiversidade (Johansson *et al.*, 1999; Pemberton, 2000; Jiménez *et al.*, 2003; Kozłowski, 2004; Gray, 2004; Brilha, 2005; Santucci, 2005; Gordon *et al.*, 2006; Scott *et al.*, 2007; Serrano & Flaño, 2007; Parks & Mulligan, 2010), esta continua ainda a ser a metade esquecida da Natureza (Sharples, 2002).

Panizza (2007) refere que o termo “geodiversidade” terá surgido pela primeira vez em 1991, começando este a ser utilizado em 1993 em algumas publicações na Alemanha e na Austrália (Zwolinski, 2004; Gray, 2008).

O conceito de geodiversidade foi desenvolvido durante a década de 90, na Tasmânia, enquanto termo ligado ao conservacionismo, sendo adaptado pelo *Australian Natural Heritage Charter* (Serrano & Flaño, 2007; Gray, 2008). Johansson *et al.* (1999) referem que a introdução deste termo é direccionada para técnicos ligados à gestão territorial, bem como autarcas, no que se refere à gestão territorial, não esquecendo as escolas e o público em geral. Salienta-se que o projecto “*Geodiversity in Nordic Nature Conservation*”, referido por Johansson *et al.* (1999), visou a introdução do conceito de geodiversidade nos países nórdicos.

Serrano & Flaño (2007) sublinham esta ligação, destacando-a como sendo uma ferramenta aplicada à gestão de áreas protegidas, algo já referido por Nieto (2004), mas aplicada aos planos de gestão territorial, sendo desta forma mais abrangente.

A juventude do conceito “geodiversidade” leva a que ainda não haja total acordo acerca da sua definição (Nieto, 2001; Panizza, 2009), ou mais propriamente da definição mais correcta a utilizar, o que, segundo Serrano & Flaño (2007) e Rojas (2005), representa uma fraqueza conceptual. Gray (2008), por seu lado, refere que o termo “geodiversidade” já obteve um estatuto teórico e conceptual, suficiente para se impor enquanto modelo/padrão de referência.

A complexidade dos subsistemas terrestres (atmosfera; hidrosfera; geosfera; biosfera) corresponde a uma diversidade assinalável de processos complexos e dinâmicos a várias escalas, produzindo uma série de fenómenos e processos que originam por si paisagens muito diversificadas, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais (*Royal Society for Nature Conservation*). Sobre este propósito, Parks & Mulligan (2010) referem que o poder de explicação de cada elemento da geodiversidade pode variar entre ecossistemas. É, por isso mesmo, compreensível esta discussão, ainda actual, sobre o real significado e abrangência do conceito de geodiversidade. Nieto (2001) destaca que uma das questões que condicionou inicialmente o desenvolvimento do conceito de geodiversidade foi o facto de a discussão ter estado centrada apenas na comunidade geológica. Acrescenta ainda que este debate deveria ter abrangido, desde o seu início, toda a comunidade que lida com a temática da gestão e ordenamento do território. Sobre este propósito, Gray (2008) critica de alguma forma a comunidade geológica, que, apesar de ter passado muitas décadas a descrever e a procurar explicação para a multitude de rochas, minerais e formas de relevo, passou relativamente pouco tempo a divulgar a geodiversidade do planeta Terra.

Em termos de definições sobre geodiversidade, há diferenças substanciais no particular e no geral. Em termos de caracterização genérica, Rojas (2005) refere que a geodiversidade é a diversidade do espaço geográfico, enquanto Parks & Mulligan (2010) mencionam que esta é a diversidade da geosfera. Por seu lado, Kozłowski (2004) destaca que a geodiversidade se refere a um conjunto interligado de esferas, a atmosfera, a litosfera, a morfmosfera, a pedosfera, a hidrosfera e a biosfera. Johansson *et al.* (1999) referem apenas que a geodiversidade é uma expressão de ambientes geológicos diferenciados, caso de ambientes vulcânicos, glaciais, fluviais ou litorais. Por seu lado, Gray (2008) menciona que a palavra geodiversidade é uma versão mais curta das expressões “diversidade geológica e geomorfológica”, enquanto que Panizza (2007) define a geodiversidade como a variedade de ambientes geológicos e geomorfológicos considerados como base para a diversidade biológica na Terra.

Xavier-da-Silva *et al.* (2001) referem simplesmente que o conceito de geodiversidade foi cunhado para representar as características ambientais de um determinado território, concretamente a sua variabilidade.

Ruban (2010), contudo, define a geodiversidade como “*diversity of geological heritage sites*”, perspectiva muito diferenciada das anteriores, embora acrescenta que esta é uma abordagem distinta da de Gray (2004), podendo, no entanto, complementar a mesma.

Em termos específicos, importa, desde já, apresentar as principais definições sobre geodiversidade, apresentadas nas últimas duas décadas, por parte de alguns dos autores dedicados a esta temática:

«The range (or diversity) of geological (bedrock), geomorphological (landform) and soil features, assemblages, systems and processes.» (Sharples, 1995);

«The natural range (diversity) of geological (bedrock), geomorphological (landform) and soil features, assemblages, systems and processes. Geodiversity includes evidence for the history of the earth (evidence of past life, ecosystems, and environments) and a range of processes (biological, hydrological and atmospheric) currently acting on rocks, landforms and soils.» (Eberhard, 1997);

«... the complex variation of bedrock, unconsolidated deposits, landforms and processes that form landscapes... Geodiversity can be described as the diversity of geological and geomorphological phenomena in a defined area.» (Johansson, 2000);

«It is the link between people, landscapes and culture; it is the variety of geological environments, phenomena and processes that make those landscapes, rocks, minerals, fossils and soils which provide the framework for life on Earth.» (Stanley, 2001);

«... el número y la variedad de estructuras (sedimentarias, tectónicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y petrológicas) y de materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y suelos), que constituyen el sustrato físico natural de una región, sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluyendo la antrópica» (Nieto, 2001);

«... the natural range (diversity) of geological (bedrock), geomorphological (landform) and soil features, assemblages, systems and processes. Geodiversity includes evidence of the past life, ecosystems and environments in the history of the earth as well as a range of atmospheric, hydrological and biological processes currently acting on rocks, landforms and soils.» (Australian Heritage Commission, 2002);

«... the natural range (diversity) of geological (rocks, minerals, fossils), geomorphological (landform, processes) and soil features. It includes their assemblages, relationships, properties, interpretations and systems.» (Gray, 2004, p. 8);

«Natural variety of the Earth's surface, referring to geological and geomorphological aspects, soils and surface waters, as well as to other systems created as a result of both natural (endogenic and exogenic) processes and human activity» (Kozłowski, 2004);

«... the variability of abiotic nature, including lithological, tectonic, geomorphological, soil, hydrological, topographical elements and physical processes on the land surface and in the seas and oceans, together with systems generated by natural, endogenous and exogenous and human processes, which cover the diversity of particles, elements and sites.» (Serrano & Flaño, 2007).

Contudo, importa também referir que boa parte destas definições se referem, tal como destacado por Carcavilla *et al.* (2007) (p. 134), a publicações editadas em inglês, facto que poderá de alguma forma reduzir a abrangência de autores, alguns dos quais não privilegiam o inglês. A extensa pesquisa bibliográfica efectuada indicia a existência de alguns artigos desenvolvidos noutras línguas, como por exemplo o russo e o chinês, pormenor que limita fortemente o acesso a estes mesmos artigos.

Em todas as definições referidas há aspectos comuns, casos dos elementos geológicos, geomorfológicos, solos e processos vários, representando estes aspectos objectivos. Há também outros aspectos, subjectivos, caso da ligação da geodiversidade com a actividade antrópica, que altera o relevo e o molda conforme os valores culturais.

Embora existam aspectos comuns às diferentes definições de geodiversidade, julgamos que definição proposta pela Australian Heritage Commission (2002) será a mais completa do ponto de vista conceptual.

Apesar de, e para todos os efeitos, se considerar que o termo “geodiversidade” já ter efectivamente um estatuto próprio e diferenciado, é um facto que ainda subsistem dúvidas, na medida em que alguns autores utilizam este termo de forma algo confusa e/ou desenquadrada, o que pode gerar confusões terminológicas. Neste último caso, enquadra-se a utilização do termo “*geodiversity of crime*”, por Frank *et al.* (2012), num trabalho na área das ciências humanas.

Prosser (2002) sugere que a geodiversidade deva ser tudo o que é abiótico, incluindo dados climáticos, numa perspectiva semelhante à de Parks & Mulligan (2010) que consideram o clima

um elemento da geodiversidade. Por seu lado, Kot (2005) refere o termo de “*climate geodiversity*”. Considera-se que a utilização deste termo é negativa, pois desconstrói o conceito de geodiversidade. Ao invés, deve ser utilizado o termo diversidade climática, em vez de geodiversidade climática.

Incorrecta é também a utilização do termo “*geodiversity sites*”, por parte de Stojanovic & Mijovic (2008) e do *Gloucestershire Geology Trust* (<http://www.glosgeotrust.org.uk/sites.shtml>), o que não significa que não se possa avaliar a geodiversidade na base dos geossítios, de modo complementar, tal como Ruban (2010) o faz, centrando a quantificação da geodiversidade na avaliação de geossítios.

A utilização do termo “*landform geodiversity*” (Zbigniew, 2009) também não parece ser a mais correcta, já que este é um termo redutor em termos de geodiversidade. Ao invés, devem ser utilizados os termos *landform diversity* (Petrisor, 2009), diversidade das formas de relevo, ou então o termo proposto por Panizza (2009), geomorfodiversidade, que se divide em geomorfodiversidade extrínseca e geomorfodiversidade intrínseca. Enquanto que o primeiro é aplicado a uma escala global a regional, o segundo é aplicado a uma escala regional a local.

De igual modo, o mesmo se passa com a utilização do termo “*soil geodiversity*” (Van der Ancker, 2006), ou então o termo “*geothermal geodiversity*” (Cody, 2007), os quais devem ser substituídos respectivamente por diversidade de solos e diversidade geotermal.

Pertinente neste âmbito, é o termo “*hidrodiversidade*”, referido por Trueba (2007) a propósito do património natural, já que, para este, o património natural é constituído pela biodiversidade, pela geodiversidade e pela hidrodiversidade.

Particularmente interessante é o termo proposto por Gray (2008) – “*geodiversity hotspots*” – que, segundo este, são áreas com maior diversidade geológica, caso de áreas do planeta com uma história geológica longa e complexa, áreas de convergência de placas tectónicas, e áreas montanhosas, com grande exposição de rochas, casos dos Alpes, do *Grand Canyon* e de áreas costeiras.

Igualmente a destacar são os dois conceitos enunciados por Zbigniew (2009), ou seja, geodiversidade dinâmica e geodiversidade estática. Esta diferenciação deve-se ao facto deste autor centrar a sua análise da geodiversidade sobre as formas de relevo, concretamente uma área montanhosa, particularmente dinâmica, daí a necessidade de criar análises diferenciadas. Apesar de Zbigniew (2009) considerar a geodiversidade dinâmica a mais correcta em termos de análise territorial, este considera-a mais difícil de avaliar, já que são muitos os factores que influenciam a

evolução do relevo, daí a maior parte das vezes os autores se centrarem sobre a geodiversidade “estática”.

Independentemente da definição de geodiversidade, Nieto (2004) sublinha que esta deve ser efectuada o mais objectivamente possível, excluindo assim possíveis interpretações, que seja também facilmente reconhecível e comparável. Isto, independentemente dos autores considerados.

2.1.1. Diversidade geológica e geomorfológica

Considerados por Rodrigues & Fonseca (2008) e por Ondicol (2012) como os principais elementos constituintes da geodiversidade, os componentes geológicos e geomorfológicos são muitas vezes resumidos simplesmente como elementos geológicos (Johansson *et al.*, 1999; Nieto, 2004; Stace & Larwood, 2006), inserindo-se os segundos na geologia (Carcavilla *et al.*, 2008). Este facto tem induzido algumas confusões de terminologia, agravado pelo facto de, também o termo diversidade geológica ser considerado como sinónimo de geodiversidade, por parte da comunidade de investigadores que trabalha no âmbito da geodiversidade (Serrano & Ruiz-Flaño, 2007).

A título de exemplo deste problema, referem-se os casos de Jonin & Graviou (2002) e Gascón (2006) que, para abordar a temática da geodiversidade, utilizam sistematicamente o termo património geológico, o que em termos conceptuais é contraproducente. Património geológico, geomorfológico e geodiversidade são aspectos complementares, não ambíguos (Ondicol, 2012).

Nieto (2004), a este propósito, refere que, para definir a geodiversidade de uma região, dever-se-á conhecer o seu património geológico e o número e natureza dos locais de interesse geológico (LIG) que os compõem. Postura semelhante tem Bruschi (2007), que num trabalho sobre quantificação de LIG, enquadra-o numa linha de avaliação de recursos da geodiversidade, pormenor algo redutor do ponto de vista conceptual.

Estes factos podem revelar-se como muito problemáticos no que concerne a uma correcta transmissão do conhecimento, por parte da comunidade científica, com vista à difusão do conceito de geodiversidade perante a sociedade.

A esta realidade não será alheio o facto enunciado por Serrano & Flaño (2007), do conceito de geodiversidade ter saído de publicações e/ou encontros científicos associados à geologia.

Em face do que foi referido, consideramos a necessidade de balizar devidamente o âmbito da investigação, evitando assim interpretações dúbias. O exemplo de Belyi (2008), centrado sobre a

diversidade geológica do Nordeste da Rússia, é um bom exemplo de interpretação objectiva e isenta de interpretações.

Já no âmbito dos elementos geomorfológicos, Yeung (2007) sublinha a importância dos processos geomorfológicos no contexto da geodiversidade.

A utilização de termos como geomorfodiversidade (Panizza, 2009) será uma das formas mais acertadas de balizar o âmbito da investigação respectiva, evitando as referidas interpretações ambíguas. Não se pode confundir uma investigação dedicada à avaliação da geodiversidade com uma avaliação complementar à mesma.

Para a análise diferenciada de elementos da geodiversidade, caso de componentes geológicos e geomorfológicos, estes devem ser claramente referenciados (Fig. 2.1.), tal como já efectuado por vários autores dedicados à avaliação do património geológico e/ou geomorfológico (Pereira, 2006; Silva, 2007; Azevedo, 2007; Rocha, 2008; Torres, 2008; Forte, 2008; Moreira, 2009).

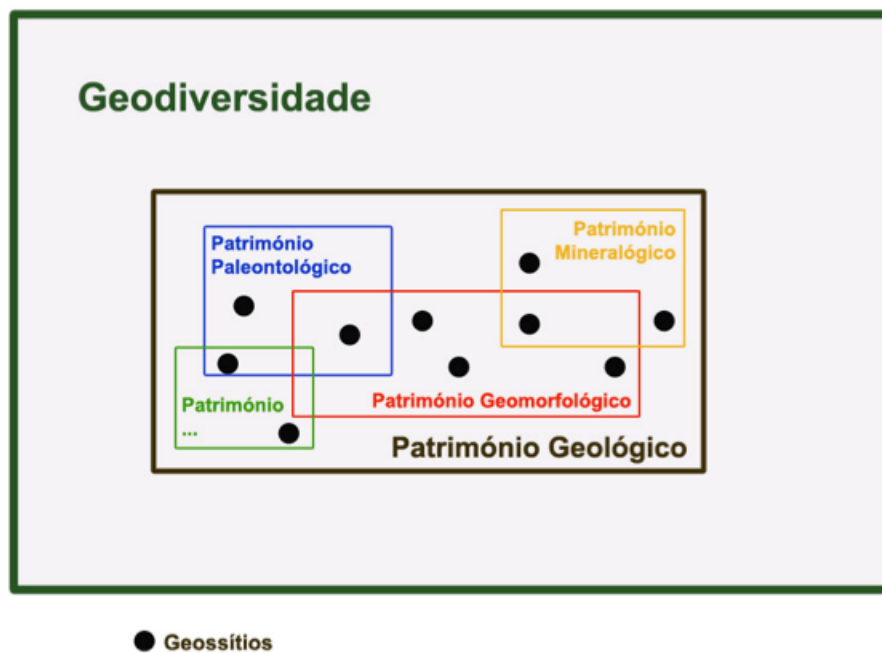


Figura 2.1. – Exemplo ilustrativo da hierarquização dos conceitos de geodiversidade, património geológico e património geomorfológico (Forte, 2008).

2.1.2. Diversidade de solos e pedodiversidade

Tendo por base o maior desenvolvimento dos estudos ligados à diversidade de solos, face aos estudos relacionados com outros elementos da geodiversidade, julgamos pertinente um maior destaque do elemento solo. O maior avanço neste domínio estará relacionado, segundo Ibáñez *et*

al. (1998), com o desenvolvimento da agricultura e conseqüente necessidade de um maior conhecimento sobre os solos agrícolas.

Considerada por Krasilnikov *et al.* (2009) como uma medida de informação registada na cobertura do solo, que requer uma estimativa quantitativa, o termo pedodiversidade foi, segundo os mesmos, cunhado por McBratney (1992).

A linha de investigação sobre a pedodiversidade, ou variedade de solos, está ainda numa fase inicial (Constantini & L'Abate, 2009), à semelhança da linha de investigação centrada sobre a medição da diversidade biótica, a qual, segundo Saldaña & Ibáñez (2004), terá pouco mais de três décadas. Sobre a diversidade, *lato sensu*, Ibáñez *et al.* (1995) sublinham que este é um conceito complexo e que não pode ser medido rapidamente e de forma simplificada. Destacam igualmente que, dependendo do tipo de entidade ecológica (biótopo; ecossistema; paisagem; bioma) ou da dimensão da área em análise, podem ser distinguidos diferentes tipos de diversidade.

Ibáñez *et al.* (1998) referem alguns níveis que podem ser estudados, relativamente ao sistema de solos:

- Diversidade estrutural da *soilscape* (locais de interesse pedológico que têm valor enquanto parte integrante da paisagem);
- Diversidade morfológica dos pedons, como por exemplo os horizontes dos solos;
- Pedodiversidade ecológica (ex. número e abundância de espécies que vivem nos solos);
- Pedodiversidade funcional (ex. em termos de capacidade da terra ou versatilidade da mesma).

Hjort & Luoto (2010) destacam que, embora já existam vários estudos centrados sobre a avaliação dos solos (pedologia), as investigações centradas sobre a medição da diversidade abiótica são, de facto, recentes. Saldaña & Ibáñez (2004) referem que os pedólogos apenas recentemente começaram a investigar e discutir o valor dos métodos e técnicas propostas, mesmo apesar das profundas repercussões qualitativas e quantitativas da diversidade de solos na paisagem (Ibáñez *et al.*, 1995).

Note-se que o próprio conceito de solo é complexo, pois como Costa (1999) refere (p. 23), «*não é fácil definir um solo, nem como indivíduo que é objecto de atenção por parte de um observador, nem como ser individualizado, porque é difícil dizer onde começa e onde acaba, por seus limites laterais e inferior serem como regra pouco precisos*».

A especificidade dos solos numa determinada área é algo que deve ser levado em conta, bem como a natureza dos processos que levam à diferenciação da cobertura do solo (Krasilnikov *et al.*, 2009). A não esquecer o facto do sistema solo ser poliestrutural e multivariado no espaço e no tempo, assim, a forma como é medida a diversidade dependerá da aplicação pretendida dos resultados, escala, entre outros (Ibáñez *et al.*, 1995).

No que se refere aos métodos quantitativos aplicados à avaliação da pedodiversidade, Krasilnikov (2009) relata que estes têm sido desenvolvidos nos últimos 15 anos, inclusive ferramentas menos utilizadas como a geoestatística. Estes métodos geomatemáticos são úteis na quantificação da pedodiversidade, como destacam Ibáñez *et al.* (1998), mencionando McBratney (1995).

Relativamente aos actuais sistemas de classificação de solos, salienta-se que estes foram desenvolvidos com propósitos agrícolas e que não levam em linha de conta áreas marginais à agricultura (Ibáñez *et al.*, 1998). Tradicionalmente os mapas de solos eram preparados para avaliar o território para diferentes usos, mas nas últimas décadas estes foram desenvolvidos a pensar na questão da produtividade agrícola (Wielemaker *et al.*, 2001), daí a existência apenas de estudos sobre os solos e não propriamente sobre a variedade de solos, ou pedodiversidade.

Já no que se refere às classificações mais recentes, Ibáñez *et al.* (1998) destacam que estas não especificam a diferença entre solos monocíclicos e policíclicos. Salientam também que o ênfase nas características proximais à superfície é comum nas classificações dos solos, facto que tenderá a minimizar a influência do elemento tempo, e das condições climáticas passadas, nas classificações dos solos e análise da pedodiversidade.

Actualmente, a riqueza e diversidade pedológica são consideradas como um recurso territorial que deve ser considerado e avaliado no ordenamento do território (Constantini & L'Abate, 2009), facto que demonstra uma evolução da compreensão da importância dos solos em termos do geosistema. Zalibekov (2006) salienta que a preservação da diversidade pedogenética representa um importante factor de sustentação do funcionamento do ecossistema e da modificação biológica de substâncias, daí a necessidade da compreensão da importância dos solos.

A diversidade do solo é normalmente caracterizada em termos da diversidade das unidades de classificação dos solos; no entanto, pode haver outras características da diversidade que não sejam levadas em conta nos sistemas de classificação dos solos (Zalibekov, 2006). Este último autor dá o exemplo das diferenças do grau de salinização sobreposto à dinâmica sazonal de sais, ou mudanças na fertilidade do solo e conteúdo de nutrientes. Estes parâmetros caracterizam a diversidade do solo em termos temporais (Zalibekov, 2006).

A variação espacial do solo é uma noção fundamental em pedologia, expressa formalmente no sistema hierárquico da taxonomia do solo e associações de solo, mencionam Chen *et al.* (2001), citando Yaalon (1995) e Yaalon *et al.* (1998). Neste âmbito, importa destacar que a informação sobre a pedodiversidade depende do grau de detalhe dos sistemas de classificação do solo aplicados durante o mapeamento dos solos (Krasilnikov, 2009).

Para Marceau (1999), a escala é uma questão crucial por vários motivos. Em primeiro lugar é um conceito central para a descrição e explicação da organização hierárquica complexa das ciências envolvidas nos estudos pedológicos. Em segundo lugar, todas as entidades, processos e variações ambientais não podem ser estudadas apenas a uma escala de análise, salienta o autor.

A compreensão de como os processos operam às várias escalas, bem como a sua ligação entre as escalas diferenciadas, torna-se um objectivo primordial quando se estudam fenómenos complexos (Marceau, 1999). Cada processo deverá ser estudado à sua escala funcional, pois no caso de serem utilizadas escalas grosseiras, em alguns casos, certos processos não conseguirão ser abarcados na análise (Wu & David, 2002).

Nos últimos anos, a pedodiversidade tem sido estudada a escalas diferenciadas, caso da escala local (Constantini & L'Abate, 2009), regional (Krasilnikov, 2009; Zalibekov, 2006; Toomanian *et al.* 2006; Saldaña & Ibáñez, 2004; Degórki, 2003; Xuelei *et al.*, 2003) e global (Ibáñez *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2001).

No domínio das escalas, Ibáñez *et al.* (1995) distinguem 4 escalas de diversidade:

- Dimensionamento da diversidade a nível pontual (polipedon);
- Dimensionamento da diversidade a nível de associação de solos;
- Dimensionamento da diversidade a nível de bacia de drenagem ou paisagem;
- Dimensionamento da diversidade a nível da região geográfica do solo.

Segundo Saldaña & Ibáñez (2004) têm sido propostas várias abordagens à análise da pedodiversidade, destacando-se a pedodiversidade taxonómica (diversidade das classes de solos), a pedodiversidade funcional (comportamento do solo sob diferentes usos) e a diversidade das propriedades dos solos (citando McBratney, 1995).

Nestas abordagens são aplicadas ferramentas estatísticas, utilizadas pelos ecologistas, para usar as noções como pedodiversidade (enquanto exemplo genérico de geodiversidade), de forma a

detectar semelhanças e diferenças entre ambos os recursos naturais bióticos e abióticos (Xuelei *et al.*, 2003).

O índice mais vulgarmente utilizado em ecologia, e que é mais utilizado por aqueles que se dedicam ao estudo da pedodiversidade, é o índice de Shannon, que vem da teoria da informação (Ibáñez *et al.*, 1998). Saldaña & Ibáñez (2004) destacam que em ecologia, bem como em pedologia, índices como o de Shannon sumarizam grandes quantidades de informação.

De acordo com Krasilnikov (2009), o método mais simples para estimar a pedodiversidade é o de calcular o número de diferentes taxa, por uma determinada área. No entanto, e segundo o mesmo autor, este índice é muito genérico, pois depende da área para o qual o cálculo é efectivo e não leva em conta as áreas ocupadas por unidades de solo particulares.

Ibáñez *et al.* (1995) agrupam em três classes diferentes, as formas de medir a diversidade, aplicadas à medição da pedodiversidade:

- Índices de riqueza;
- Modelos de distribuição de abundância;
- Índices baseados na abundância proporcional dos objectos.

Sobre este propósito, os mesmos autores referem que os índices e modelos de diversidade podem ser utilizados para explorar, quantificar e comparar a complexidade dos padrões do solo em ambientes e regiões diferenciadas. De igual modo, Xuelei *et al.* (2003) destacam a importância da utilização dos índices e modelos de distribuição da abundância, ferramentas utilizadas pelos ecologistas, nos estudos sobre pedodiversidade, com o propósito de detectar diferenças entre recursos bióticos e abióticos.

Toomanian *et al.* (2006) empregam um destes índices, o índice de Shannon, para seguir a tendência de evolução do solo, e da paisagem, no vale de *Zayandeh-sud*, no Irão. Neste caso, os autores notaram que a diversidade do solo aumenta à medida que os níveis de hierarquia taxonómica e geomórfica diminuem.

Apesar de aplicado aos locais de interesse pedológico, ou pedossítios, Constantini & L'Abate (2009) empregam igualmente o índice de Shannon na classificação de solos com características patrimoniais, nomeadamente solos com valor cultural. Os autores apresentam uma metodologia, aplicável a outros países, que foi utilizada para avaliar e agrupar os locais de interesse pedológico de Itália.

Ibáñez *et al.* (1995) destacam que estas metodologias foram aplicadas poucas vezes ao estudo das estruturas abióticas, mesmo apesar do seu potencial. No entanto, os mesmos autores sustentam que índices como o de Shannon, ou o índice de uniformidade (abundância relativa de cada objecto, caso da área relativa ocupada por cada tipo de solo) são sumário de estatísticas, sendo desta forma imperfeitos. Para que esta limitação seja ultrapassada, Ibáñez *et al.* (1995) referem que juntando índices como o de Shannon, com o número de espécies (riqueza) e índices de uniformidade (*evenness*), consegue-se chegar a uma melhor compreensão das características/padrões da diversidade. Os mesmos autores sublinham o facto dos padrões de biodiversidade, diversidade geomorfológica e pedodiversidade terem grandes similaridades, sugere que há conformidades universais comuns à organização das estruturas ecológicas bióticas e abióticas.

Uma outra questão que se reflecte no domínio da pedodiversidade está relacionada com os mapas de solos, já que estes são considerados nos estudos sobre pedodiversidade. Krasilnikov (2009) destaca que pode ocorrer o facto de num mesmo território existirem mapas de solos, desenvolvidos por diferentes especialistas, que podem diferir em boa parte. Este pormenor deve-se, segundo o mesmo, às metodologias diferenciadas utilizadas aquando do delinear dos polígonos de solo e das fronteiras pedológicas. Acrescenta ainda que os diferentes estudos podem diferir não apenas em termos de grau de detalhe, mas também na forma e posição de delineamento particular do solo. Krasilnikov (2000), conclui que há diferenças substanciais entre diferentes sistemas de classificação dos solos, caso do sistema russo e outros sistemas de classificação internacionais.

Neste contexto será incorrecto comparar informação obtida com a utilização de sistemas de classificação diferenciados ou diferentes níveis taxonómicos do mesmo sistema.

2.1.3. Relação entre paisagem e geodiversidade

Paisagem e geodiversidade, apesar de serem dois conceitos diferenciados, estão intrinsecamente ligados. Contudo, enquanto que o conceito de geodiversidade tem apenas duas décadas, o conceito de paisagem tem já alguns séculos. Na Europa, a noção de paisagem surge entre os séculos XV a XVII (Amaral, 2001).

Domingues (2001) relata que, «*na geografia clássica, a paisagem constituía um conceito central, coerentemente construído, objecto de uma forte consensualidade e referência inultrapassável da*

própria geografia». No entanto, a importância deste conceito variou no tempo, estando inclusivamente ligada a diferentes escolas de pensamento (Salgueiro, 2001).

É de destacar o facto de existirem várias abordagens sobre a paisagem, o que, segundo Adalberto *et al.* (2007) se deve à inclusão da paisagem num amplo espectro de disciplinas, caso da arquitectura, antropologia, agricultura, filosofia ou geologia.

Segundo a Convenção Europeia da Paisagem, aprovada em 2000 pela União Europeia, o termo "paisagem" «*designa uma parte do território, tal como é apreendida pelas populações, cujo carácter resulta da acção e da interacção de factores naturais e ou humanos*».

De acordo com Bruschi (2007), e para a maioria dos autores, o conceito de paisagem, por vezes ambíguo (Salgueiro, 2001), põe em evidência as características que têm a ver com a percepção da mesma por parte dos cidadãos. Tal como Salgueiro (2001) sublinha, não se deve «*confundir paisagem com um pedaço da superfície terrestre, mas restringir o uso do termo às representações que as pessoas têm desse espaço*». Cada indivíduo tem uma percepção diferenciada perante a paisagem, dependendo a mesma de factores como, por exemplo, a sua cultura, a educação, idade, sexo ou o hábito de contemplar paisagens (Bruschi, 2007). Isto significa que há uma diferença entre aquilo que se vê e o modo como a paisagem é vista (Salgueiro, 2001), facto que tem dificultado a aplicação de medidas que visem a protecção da paisagem.

Contudo, Adalberto (2007) refere que, pela primeira vez na história, ciência e política convergem no domínio da protecção da paisagem, facto que possibilita um incremento na procura de abordagens conceptuais que possam otimizar a protecção da paisagem.

A esta alteração de paradigma, não será estranho o facto de estarmos a assistir a uma espécie de paradoxo geográfico, onde a força da globalização tem potenciado o reconhecimento e a valorização de territórios locais e regionais (Rojas, 2005). Esta mudança valoriza não só paisagens, bem como a geodiversidade associada a cada território. Aliás, Gray *et al.* (2013) referem a relevância da geodiversidade na agenda política, de uma forma muito abrangente, incluindo nesta agenda a conservação da Natureza, o planeamento, a paisagem, o ambiente, a educação, o desenvolvimento rural, e a saúde e qualidade de vida.

Ainda sobre este propósito, Hjort & Luoto (2010) mencionam a maior consciência sobre a necessidade de perceber os padrões da geodiversidade em diferentes paisagens, as quais estão sujeitas a mudanças globais, potenciadas pela globalização.

Nomeando Cendrero *et al.* (1986), Bruschi (2007) salienta a surpresa que é o facto de, apesar da forte dependência entre a paisagem e as características geológicas e geomorfológicas, ou seja

componentes da geodiversidade, são escassos os trabalhos que visam a sistematização destas relações.

A propósito desta limitação, Gray *et al.* (2013) sublinham a necessidade de uma abordagem integrada, em termos de ecossistema, a qual inclua a geodiversidade, a biodiversidade e a conservação da paisagem.

Prosser *et al.* (2011) referem que a definição de paisagem, pela Convenção Europeia da Paisagem, reconhece, em sentido lato, o valor da geodiversidade enquanto modelador da paisagem. Da mesma forma possibilita uma boa ocasião para demonstrar o papel da geodiversidade na definição e compreensão das paisagens, adicionando deste modo importância no que concerne à conservação da geodiversidade (Prosser *et al.*, 2011).

Centrando-se sobre a questão da paisagem, Ribeiro (2001) menciona que «*qualquer paisagem apresenta, para além dos factos visíveis, a marca de muitos outros factos, de diferentes categorias, que influenciam os primeiros*», algo que poderia ser mencionado igualmente a propósito da geodiversidade. O mesmo se poderia afirmar quando Ribeiro (2001) menciona que «*o relevo constitui o esqueleto das paisagens*», dado que alguns dos elementos da geodiversidade, nomeadamente a geologia e geomorfologia, são estruturantes nas paisagens. Sobre este propósito, Erikstad (2013) salienta que a paisagem é um cenário onde vários elementos da geodiversidade têm um impacto central, caso da estrutura geológica e da geomorfologia. Por seu lado, Azevedo (2006) destaca o facto de a paisagem constituir um forte elemento de caracterização da respectiva geodiversidade.

No que concerne à ligação entre alguns dos elementos da geodiversidade com a paisagem, nomeadamente elementos geológicos e, principalmente, geomorfológicos, Carcavilla *et al.* (2007) referem (p. 145) que a relação é evidente. Isto, na medida em que, directamente, estes constituem aspectos identificativos da paisagem e, indirectamente, porque condicionam o desenvolvimento das paisagens. Complementam ainda com a ideia que, nos territórios onde a geodiversidade é maior, tendencialmente desenvolver-se-á um maior número de paisagens, ideia partilhada por Brushi (2007).

A geodiversidade tem uma ligação muito forte com a diversidade da paisagem e é esta que dá à paisagem o seu perfil e o seu carácter, com os elementos paisagísticos constituídos pelo substrato (Johansson *et al.*, 1999; Lawrence *et al.*, 2007).

Neste último âmbito, e acerca da complexidade da paisagem, Zbigniew (2009) menciona a geodiversidade das formas de relevo enquanto descritora desta mesma paisagem.

Enquanto que Benito-Calvo *et al.* (2009) mencionam que a geodiversidade é uma característica da paisagem, Larwood *et al.* (2013) aludem ao facto de que a geodiversidade influencia, entre outros, a paisagem, os padrões de urbanização e a história cultural. Aliás, Stace & Larwood (2006), bem como a própria Estratégia Andaluza para a Geodiversidade, sublinham que a paisagem é um dos valores da geodiversidade, mesmo que dos menos conhecidos.

Contudo, Benito-Calvo *et al.* (2009) destacam que são os factores físicos, caso da litologia, estrutura, formas de relevo, processos e solos, que constituem a base da paisagem e os aspectos chave para definir a geodiversidade; ou seja, a diversidade é um dos factores e critérios que determinam os valores naturais de uma paisagem (Johansson *et al.*, 1999).

Gordon (2008) tem uma perspectiva algo diferenciada, ao mencionar a geodiversidade enquanto parte integrante do património natural da Escócia, estando esta fortemente ligada com vários aspectos da paisagem cultural e com o desenvolvimento do geoturismo. Aprofundando o raciocínio, Gordon (2008) salienta a influência criativa da geodiversidade, a qual, segundo o mesmo, facilita a exploração interdisciplinar da ligação cultural com a paisagem, além, claro, das ligações entre o Ser Humano e a Natureza. Aliás, são vários os autores que se dedicam a esta última linha de investigação, casos de Adalberto *et al.* (2007), Koziraki (2007), Vernicos *et al.* (2007), Ovistrom *et al.* (2007), Nikolaidis & Dimitriou (2007) e Lehouck *et al.* (2007).

Segundo Azevedo & Pimentel (2006), a leitura da paisagem «*constitui uma aprendizagem recente relacionada com os também recentes conceitos de geodiversidade e geoturismo*».

Apostando precisamente na leitura da paisagem, enquanto ferramenta da divulgação da geodiversidade, Azevedo (2006) apresenta uma metodologia que pretende potenciar a exploração da paisagem em saídas de campo. Metodologias deste género, são apresentadas por Yarham (2010), num pertinente manual dedicado à leitura da paisagem.

Finalizando, e mesmo apesar destas evidentes ligações, entre paisagem e geodiversidade há, contudo, que destacar que, tal como a geodiversidade, a paisagem ser, por direito próprio, um campo de planeamento e gestão (Erikstad, 2013).

2.2. Os valores da geodiversidade

Tendo em vista uma correcta gestão da geodiversidade, importa mencionar, entre outros, os valores que lhe são associados, dos quais se destacam os apresentados por Gray (2004) e Webber *et al.* (2006). No caso português, evidencia-se Brilha (2005), que utiliza essencialmente as propostas de Gray (2004)

Gray (2004) reconhece e classifica cerca de 30 valores da geodiversidade da Terra, agrupados em 6 categorias principais e 19 subcategorias, que importa referir:

1. Intrínseco ou valor de existência.
2. Valor cultural:
 - Folclore (geomitologia);
 - Valor histórico e arqueológico;
 - Valor espiritual;
 - Noção do lugar;
3. Valor estético:
 - Paisagens locais;
 - Geoturismo e actividades de lazer;
 - Inspiração artística;
4. Valor económico:
 - Combustíveis fósseis;
 - Industrial, metálico e minerais preciosos;
 - Materiais para construção;
 - Fósseis;
5. Valor funcional:
 - Funções utilitárias;
 - Funções do geossistema;
 - Funções dos ecossistemas;
6. Valor científico e educacional:
 - Processos e descobertas científicas;
 - História da Terra;
 - História da investigação;
 - Monitorização ambiental;
 - Educação e treino.

Por seu lado, Webber *et al.* (2006) reconhece e classifica cerca de 37 benefícios associados à geodiversidade (e.g., sociais, culturais e económicos), agrupando-os em 4 categorias principais e 33 subcategorias:

1. Apreciação:

- Melhoria da qualidade de vida nas proximidades;
- Recurso para lazer e turismo;
- Apreciação à distância (através de livros e televisão);
- Significado cultural, histórico e espiritual;
- Inspiração artística;
- Desenvolvimento social;

2. Conhecimento:

- Descoberta científica;
- Análise histórica (evolução);
- Monitorização ambiental;
- Recurso pedagógico;
- Investigação;

3. Produtos:

- Produtos alimentares e água;
- Combustíveis e energia;
- Construção civil e obras públicas;
- Minerais para a indústria;
- Ornamental e outros produtos;
- Emprego;

4. Funções dos sistemas naturais ou ecossistemas:

- Serviços de suporte da vida na Terra;
- Formação de paisagens ou geomorfologia;
- Inundações e controlo de erosão;
- Quantidade e qualidade da água;
- Controlo de poluição;
- Processos pedológicos;

- Suporte de habitats.

Ambas as classificações (Gray, 2004; Webber *et al.*, 2006) complementam-se entre elas, já que no essencial ambas reflectem os mesmos valores, quer em termos genéricos, quer em termos mais precisos. A diferença estará na classificação mais aprofundada de alguns destes valores por parte de Webber *et al.* (2006).

Tendo como base as 6 categorias destacadas por Gray (2004), procede-se a uma descrição mais detalhada das mesmas.

2.2.1. Valor intrínseco

De entre todos os valores associados à geodiversidade, o intrínseco será porventura o mais subjectivo, dada a sua intangibilidade. Quantificar este valor será uma tarefa quase utópica, já que o mesmo se baseia em grande parte em perspectivas espirituais e filosóficas.

O «valor intrínseco é frequentemente usado como sinónimo de valor não instrumental. Objectos, actividades e estados de coisas têm valor instrumental na medida em que são meios para um qualquer outro fim. Têm valor intrínseco se têm valor em si. É um ponto muito repetido que, sob pena de regressão infinita, nem tudo pode ter apenas valor instrumental.» p. 174 (Jamieson, 2003).

Segundo este último autor, o direito do abiótico raramente é examinado, não sendo muitas vezes a natureza abiótica considerada por muitos como digna de consideração moral, algo que é considerado como negativo para a nossa própria sobrevivência.

Para uns, a natureza deve estar à disposição dos seres humanos, para seu usufruto, muitas vezes limitado apenas pela ganância e falta de valores éticos e morais. Para outros, o ser humano é parte integrante da natureza, fazendo com que esta possua um valor próprio (Brilha, 2005). São duas correntes que se confrontam uma à outra, o tecnocentrismo ou antropocentrismo, e o ecocentrismo (Gray, 2004; Fernandes, 2004). A relação do ser humano com a natureza, é retratada de forma aprofundada por Fernandes (2004), que debate (p. 59-117) a acção transformadora da humanidade no planeta Terra e coloca em evidência a dicotomia entre as teses tecnocêntricas e as teses ecocêntricas.

Considera-se, no âmbito deste trabalho, que o valor intrínseco é um valor real e concreto, mesmo que este não seja mensurável.

Relembrando a tese da assimetria referida por Jamieson (2003), p. 507, sem natureza a humanidade pereceria, nós somos totalmente dependentes dela. Reforça assim o argumento da autonomia para estabelecer a tese de que a natureza terá um valor independente do ser humano. Tendo em conta todos estes factos, a geodiversidade tem um valor intrínseco, o qual é independente da maior ou menor utilidade para o ser humano (Brilha, 2005), mas fundamental para a sua sobrevivência.

2.2.2. Valor cultural

Este valor é determinado pela importância dada pela sociedade a alguns aspectos do ambiente físico que interferem no desenvolvimento social, cultural e religioso das comunidades (Gray, 2004), podendo ser a várias escalas, desde o lugar até ao próprio país. Stace & Larwood (2006) referem este mesmo facto, a nível de país, quando exemplificam sobre a geodiversidade enquanto geradora do carácter do Reino Unido.

Há muitos casos ilustrativos desta interligação, alguns deles facilmente acessíveis através da lista de Património Mundial da UNESCO (<http://whc.unesco.org/en/list>). Destacam-se alguns, casos do Santuário Histórico de Machu Picchu, no Peru, do Parque Nacional de Göreme e da Capadócia, na Turquia, do Parque Nacional Uluru-Kata Tjuta, na Austrália, dos mosteiros de Meteora, na Grécia, ou da fortaleza natural de Masada, em Israel.

Esta interligação é complexa pois engloba a geomitologia, valor histórico e arqueológico, valor espiritual e noção de lugar (Gray, 2004), apesar de ser um dos valores com maior significado para o público em geral.

Um exemplo bem ilustrativo desta interligação, no caso nacional, ocorre na Serra de Alvaiázere, onde se localiza um dos maiores povoamentos da Idade do Bronze da Península Ibérica (Félix, 2001). Este povoamento é situado num local geomorfologicamente muito favorável, tendo além do valor arqueológico importante, valor histórico a realçar, além, claro, de algumas lendas locais de índole geomitológico.

São vários os bons exemplos de aspectos culturais devidos às características geológicas locais, caso das aldeias do xisto, uma das marcas turísticas da região centro de Portugal. Também o são muitas aldeias, ainda pouco alteradas, situadas nos maciços calcários, caso da Serra de Aire e Candeeiros e de Sicó/Alvaiázere, onde se encontram belos exemplos de casas de pedra calcária, contribuindo para uma paisagem cultural de salientar. Já no domínio dos granitos, destaca-se a conhecida aldeia de Monsanto, em Idanha-a-Nova.

Um aspecto muito particular, destacado por Fonseca (2005), é a existência de dezenas de topónimos em Portugal, muitos dos quais ligados a elementos da geodiversidade. São topónimos que demonstram a importância da geodiversidade na determinação de muitos nomes de lugares, casos de Água d'Alto, Algar, Barrancos, Brejo Cimeiro, Caldas da Saúde, Cimo do Valongo, Maçal do Chão, Pias, Quatro Ribeiras ou Várzea. São apenas alguns exemplos pertinentes.

No que concerne ao valor espiritual, Forte *et al.* (2008) agrupam 6 dos mais significativos exemplos da relação entre grutas e religião, mostrando fortes ligações entre o meio físico e o desenvolvimento social, cultural e religioso, no caso português.

2.2.3. Valor estético

Igualmente dependente de alguma subjectividade, provindo do/a observador/a, o valor estético assume-se como um dos valores com maior facilidade de compreensão por parte dos cidadãos. Dar-se mais valor a certas paisagens dependerá, entre outros, da nossa identidade pessoal, que inclui crenças e valores, associados ao conhecimento pessoal. É, desta forma, uma conjugação de variáveis algo complexa.

Neste âmbito, Gordon & Kirkbride (2009) sublinham a ligação da geodiversidade com as paisagens culturais da Escócia, apresentando o exemplo de escritores que observaram ao longo de algumas décadas a ligação espiritual profunda deste povo com a paisagem.

Apesar da opinião pessoal de cada um de nós, a observação de paisagens constitui uma actividade de lazer consensual (Brilha, 2005). Dificilmente alguém que não admire de forma mais apaixonada paisagens naturais comuns, conseguirá negar que paisagens esmagadoras, caso do *Grand Canyon*, nos Estados Unidos, têm algum tipo de valor estético.

À semelhança do conceito de geodiversidade, também a “leitura da paisagem”, e por conseguinte a valoração estética das paisagens, constitui uma aprendizagem recente (Azevêdo & Pimentel, 2006); por isso, e em conjugação com as grandes transformações antrópicas da paisagem, será de certa forma natural que este valor seja cada vez mais reconhecido e valorizado.

O valor estético é cada vez mais o suporte para a diversificação de actividades de lazer, sendo uma janela sobre a geodiversidade, mesmo que as pessoas não se apercebam (Brilha, 2005). São muitas destas actividades de lazer que têm levado a um maior reconhecimento das sociedades do valor estético das paisagens naturais.

2.2.4. Valor económico

De compreensão mais clara por parte do cidadão, será o valor económico da geodiversidade, já que estamos quase todos habituados a atribuir um valor económico a praticamente todos os bens e serviços (Brilha, 2005). Facilmente compreendemos que a brita, o cimento e as areias, que são utilizados em grandes obras públicas, além de muitos outros materiais geológicos, têm um valor associado.

Velho (2006) faz uma retrospectiva do valor económico associado à geodiversidade, apresentando, entre outros, o caso europeu durante os séculos XV a XVIII. A grande expansão económica alicerçada na actividade mineira, foi permitida pela extracção de metais como por exemplo a prata, alumínio, cobre, chumbo, estanho, ferro e sal.

Este último autor apresenta também vários exemplos de geoconflitos devidos à disputa de georecursos, mostrando exemplos como a guerra entre Chile e Perú (Guerra dos Nitratos), ocorrida no século XIX, na qual os nitratos e o cobre foram a causa deste geoconflito.

Salienta-se também o destaque deste autor aos séculos XX e XXI e aos novos padrões de consumo, os quais fizeram ressurgir a necessidade de minerais e rochas industriais.

No domínio do valor económico associado aos metais, um relatório da ONU de 2010, alerta para a “extinção” de metais. Neste relatório, o lítio, o neodímio e o índio, elementos essenciais para a indústria electrónica, são assumidos como “metais ameaçados de extinção”. Destaca o índio como um metal que terá cada vez mais forte procura, já que é utilizado no fabrico de LEDs e eléctrodos transparentes para ecrãs planos, monitores e televisões.

Noutro domínio, o turismo associado especificamente à geodiversidade, Webber *et al.* (2006) referem a importância económica da geodiversidade, apresentando uma avaliação numérica, em termos de divisas, que o geoturismo representa na ilha de Wight. A média diária ultrapassava os 100 euros e representaria anualmente a entrada de 16 milhões de euros. Além deste significativo valor representava também uns expressivos 400 postos de trabalho naquela ilha.

Num outro âmbito, a economia ecológica, Daly & Farley (2004) referem a importância económica de alguns recursos abióticos no sistema económico, caso dos combustíveis fósseis, minerais e terra, numa perspectiva diferenciada de Gray (2004), esta última mais conhecida.

Importa mencionar também neste ponto, o valor geopolítico da geodiversidade (Forte, 2008), que tem reflexos a nível económico. Este tem-se manifestado por exemplo através de vários geoconflitos, os quais se referem à disputa de recursos decorrentes da geodiversidade (Velho,

2006), caso dos recursos minerais fósseis. É um valor menosprezado que ainda não é devidamente reconhecido.

2.2.5. Valor funcional

Valor estruturante associado à geodiversidade, o valor funcional foi introduzido por Gray (2004), se bem que na literatura científica este valor já fosse reconhecido, mesmo que indirectamente, através do reconhecimento dos serviços dos ecossistemas (Lévêque, 2001). Gray (2004) refere que a geodiversidade resulta numa diversidade de valores utilitários funcionais dos diferentes sectores da paisagem.

Brilha (2005) refere duas perspectivas a ter em conta neste âmbito:

- Valor da geodiversidade *in situ*, de carácter utilitário para o Homem;
- Valor da geodiversidade enquanto substracto para a sustentação dos sistemas físicos e ecológicos na superfície terrestre.

O valor *in situ* da geodiversidade é mencionado por este último autor como referente à valorização da geodiversidade “intocada”, ao invés do seu valor depois de explorada. Este último exemplo foi já destacado no último ponto, relativo ao valor económico da geodiversidade.

Na antiguidade, muitas cidades foram fundadas em locais muito favoráveis, seja pela sua implantação em locais estratégicos, caso de cidades portuárias, seja pela sua implantação em locais onde em seu redor havia campos agricultáveis. Ou então algumas cidades que devem a sua origem à actividade mineira, caso da peculiar cidade de Røros, situada na Noruega. Esta cidade faz parte da lista de Património Mundial da UNESCO (<http://whc.unesco.org/en/list/55>), e teve a sua origem no século XVII derivado da extracção de cobre. São alguns exemplos que demonstram o valor *in situ* da geodiversidade, sendo um suporte estruturante no decorrer de grande parte das actividades humanas.

No que se refere ao valor da geodiversidade enquanto substrato para a sustentação dos sistemas físicos e ecológicos, Webber *et al.* (2006) destacam as inundações e controlo de erosão, o controlo de poluição, os processos pedológicos, o suporte de habitats ou a formação de paisagens. Elaboram também uma análise quantitativa do valor económico que estas mesmas funções representam, facto que é raro, dada a dificuldade em quantificar o valor funcional da geodiversidade.

2.2.6. Valor científico e educativo

Os valores científico e educativo assumem-se, de várias formas, como os mais importantes, sendo o ambiente físico um laboratório para pesquisas futuras (Gray, 2004).

Locais de importância reconhecida, casos do carso do sul da China, do Parque Nacional *Alejandro de Humboldt*, em Cuba, das Lagoas da Nova Caledónia, da *Isole Eolie*, em Itália, dos vulcões de *Kamchatka*, na Rússia e da *Swiss Tectonic Arena Sardona*, afiguram exemplos de locais únicos em termos científicos, estando todos eles incluídos na lista de património mundial da UNESCO.

Como Brilha (2005) refere, a investigação científica, ligada ao domínio das Ciências da Terra, baseia-se fundamentalmente no acesso e posterior estudo de amostras representativas da geodiversidade. Locais como os apresentados permitem a investigação de âmbito fundamental neste domínio, permitindo conhecer melhor a história da Terra.

Do mesmo modo, a investigação de carácter aplicado, contribui para uma melhor relação entre o Homem e a geodiversidade (Brilha, 2005).

Stace & Larwood (2006) destacam o papel fundamental da geodiversidade para o desenvolvimento sustentável, sendo a base da economia. Desta forma torna-se fundamental diversificar a investigação de carácter aplicado à geodiversidade, promovendo a tão necessária compreensão, com vista à sustentabilidade. O mesmo autor refere que uma falha na gestão da geodiversidade levará inevitavelmente a sérios problemas ambientais, económicos e sociais.

Kozłowski (2004) refere, no âmbito da gestão da geodiversidade, a importância do reconhecimento da geodiversidade enquanto qualidade humana amigável e característica indispensável para o desenvolvimento da vida, nomeadamente vida humana, facto que demonstra a utilidade da investigação de carácter aplicado.

No domínio do valor educativo da geodiversidade, Webber *et al.* (2006) destacam o valor pedagógico enquanto componente a destacar.

Para compreender a geodiversidade há que “mergulhar” no território, em saídas de campo ou em lazer, de forma a ter o imprescindível contacto com a geodiversidade. Seja em actividades formativas ligadas a profissionais ou seja actividades de âmbito escolar, estas saídas de campo, formais ou informais, permitem conferir à geodiversidade um extraordinário valor educativo (Brilha, 2005).

Para esta mesma compreensão da geodiversidade há que preservar locais únicos que, desaparecendo, dificultam ou impossibilitam a leitura da história da Terra, algo que importa evitar a todo o custo.

2.3. Ameaças à geodiversidade

Considera-se, frequentemente, que as formas de relevo são imutáveis e, por isso, não necessitam de qualquer tipo de gestão (Pemberton, 2000); mas basta pensar a paisagem nas suas várias escalas para que a nossa ideia mude radicalmente.

Gray (2004) refere que há uma tendência natural para pensar o mundo biótico como frágil, ao contrário do mundo abiótico, o qual nunca poderá estar em grande risco. É uma tendência que urge contrariar a bem da geodiversidade, ou de forma mais correcta, a bem da geoconservação.

Há várias ameaças concretas à geodiversidade, retratadas por Gray (2004), demonstrando que a sua maior ameaça é precisamente a acção antrópica, a qual coloca em risco, não só alguns dos valores associados a esta temática, como também algumas das suas actividades.

Sobre os principais impactos na geodiversidade devido à acção antrópica, Gray (2004) agrupa-os em 8 categorias:

- Perda total de um elemento da geodiversidade;
- Perda parcial ou dano físico;
- Fragmentação de um elemento da geodiversidade;
- Perda de visibilidade;
- Perda de acesso;
- Interrupção de processos naturais;
- Poluição;
- Impacto visual.

Desta forma, podemos genericamente constatar que a geodiversidade se encontra ameaçada a escalas diversas e em distintos graus (Brilha, 2005). Gray (2004) refere a importância da geoconservação no que concerne também aos processos dinâmicos que ocorrem na geosfera, e não apenas no que se refere aos elementos estáticos, sublinhando deste modo a questão das escalas e dos distintos graus por este referidos. Identificar as ameaças à geodiversidade é contribuir para um correcto ordenamento do território e um garante da sustentabilidade económica.

Daly & Farley (2004) referem (p. 118) «*que as reservas totais são finitas e, de acordo com a primeira lei da termodinâmica isto impõe um limite físico à sua contribuição para o crescimento*

material da economia», afirmação prudente e que deve ser tomada em conta no que se refere à gestão da geodiversidade.

No entanto, e apesar de se estar a realçar apenas as ameaças antrópicas, há outros casos que importa realçar, destacando-se as mudanças climáticas globais.

Gordon *et al.* (2008) destacam as alterações climáticas como um processo natural que pode ser criador ou destruidor da geodiversidade. Referem o exemplo do aumento do nível médio do mar que pode levar à submersão e/ou destruição de determinados afloramentos, mas que da mesma forma pode levar ao surgimento de novos afloramentos, através da erosão costeira. Este último exemplo não será uma ameaça à geodiversidade, mas sim um processo de criação e destruição da mesma, algo que importa compreender. Por isso, considera-se apenas a acção antrópica como efectiva ameaça para o mundo abiótico. Isto porque a gestão da geodiversidade é encarada como uma necessidade para o futuro da espécie humana.

2.3.1. Exploração de recursos geológicos

A exploração de recursos geológicos é uma necessidade premente das sociedades ocidentais actuais, extensas áreas são afectadas, por exemplo pela extracção de rochas para a construção civil e obras públicas. A área entre a Mendiga e a Barreirinha, nas Serras de Aire e Candeeiros, é um dos casos mais expressivos em Portugal, em termos de impacto visual.

Derivado desta afectação de extensas áreas, surge a ameaça a vários elementos da geodiversidade, podendo esta ser a nível de paisagem ou a nível de um pequeno afloramento (Brilha, 2005). Pode também representar uma ameaça directa, caso da exploração de um minério, ou ameaça indirecta, caso da poluição causada pela extracção desse mesmo minério.

Os impactos directos mais visíveis, ao nível das formas de relevo, resultam geralmente da exploração de pedreiras, areiros e minas a céu abertos, bem como da acumulação de escombrelas.

Relativamente a impactos indirectos, Gray (2004) refere a contaminação de cursos de água, aquíferos, alterações de abastecimento de sedimentos aos sistemas activos e extracção de materiais geológicos nos rios, acções aceleradoras da erosão. Focando os recursos geomorfológicos nos impactos directos, por exemplo, ocorre na Boca da Ribeira, na Foz da Ribeira Principal (Parque Natural da Serra da Malagueta, Ilha de Santiago, Cabo Verde) extensa extracção ilegal de areia e cascalho para exploração comercial (Amilton, 2009). Significa isto que estes

materiais são retirados dos ciclos naturais de transporte e sedimentação, podendo ter impactos relevantes, a várias escalas espaciais e temporais.

Neste âmbito, Tsvetkova (2005) refere o caso específico de *Boboy Dol*, na Bulgária, onde a extracção de minério colocou em causa os solos agrícolas devido à poluição que posteriormente terá originado vários casos de doenças de foro oncológico.

Apesar da extracção de recursos geológicos representar uma ameaça para muitos dos elementos da geodiversidade, permite, no entanto, por vezes, a abertura de janelas para a geodiversidade (Brilha, 2005) em algumas frentes de pedreira, caso do conhecido exemplo do Monumento Natural das Pegadas de Dinossáurios de Ourém/Torres Novas, vulgo Pedreira do Galinha.

2.3.2. Desenvolvimento de obras e estruturas

Os estudos de impacte ambiental (EIA) e as avaliações de incidência ambiental (AInCA) não avaliam os impactes ambientais ao nível da geodiversidade, contrariamente ao que acontece ao nível da biodiversidade. Esta não ponderação de parte dos valores naturais leva, em última análise, à destruição de muitos dos elementos da geodiversidade, trazendo com isso impactos sobre a mesma a diferentes escalas espaciais e temporais.

Vias de comunicação e aeroportos são exemplos de obras com grande potencial destruidor da geodiversidade, seja através de desaterros que removem solos e instabilizam vertentes, seja através de aterros que cobrem de terra e rochas elementos da geodiversidade; ou então, o caso das barragens, que impedem o transporte de sedimentos de montante para jusante, além, claro, de grandes áreas que ficam submergidas, impossibilitando o acesso a elementos da geodiversidade.

No caso de elementos geomorfológicos, Khalequzzaman (1993) refere a redução do afluxo de sedimentos causada pela barragem de Farakka, no Bangladesh, que causou a diminuição da taxa de crescimento do delta do rio Hoogley e levou ao aumento da erosão costeira, facto agravado pela subida do nível médio do mar, o que poderá levar à submersão de áreas significativas daquele país, refere o mesmo autor citando Broadus *et al.* (1986) e Milliman *et al.* (1989). A gestão de bacias hidrográficas tem subvalorizado os impactos na geodiversidade e com isso as paisagens têm-se alterado sem que se estivesse preparado em termos técnicos, caso extremo referido do Bangladesh.

A uma escala menor, e já noutro domínio, Silva *et al.* (2006) referem a destruição de lajes graníticas na Serra da Cabreira devido à construção de parques eólicos; à semelhança de Forte

(2007), Forte (2008) (p.15) e Forte *et al.* (2010), que referem, entre outros, a destruição de extensas áreas de lapiás de várias tipologias nas Serras de Ariques e Alvaiázere, em Portugal.

Alguns empreendimentos turísticos no litoral algarvio são também um mau exemplo, não só em termos de ordenamento do território bem como da própria destruição da geodiversidade daquela região. O caso de Centeanes, perto do Carvoeiro, é um destes exemplos.

Ainda no domínio do litoral, a construção de dezenas de esporões tem influenciado gravemente o equilíbrio de extensos sectores do litoral, afectando assim muitos elementos da geodiversidade e processos associados.

Existe também o caso de algares e pedreiras, nos quais se depositam, por vezes, grande quantidade de resíduos de várias tipologias, poluentes e não poluentes, que constituem ameaça directa e indirecta à geodiversidade. Directa porque, depois de tapados, alguns destes locais onde eram visíveis elementos da geodiversidade perdem-se de forma permanente. Indirecta porque, no caso de conterem resíduos poluentes, podem significar graves focos de poluição, que no caso das regiões cársicas é bem mais grave dada a fragilidade do sistema.

A ameaça relacionada com as obras e infra-estruturas pode também, por vezes, ter aspectos positivos, caso que pode ocorrer na abertura de estradas. Ficando expostos certos elementos da geodiversidade, até então ocultos, abrem-se as já referidas janelas de geodiversidade (Brilha, 2005). Mata-Perelló *et al.* (2004) referem a abertura de várias vias de comunicação, em Espanha, onde os taludes se tornaram uma boa base de visualização de elementos e processos geológicos.

2.3.3. Florestação, desflorestação e agricultura

Apesar do crescimento de vegetação ser, em regra positivo, no caso da geodiversidade pode significar que esta vegetação oculte as características geológicas de uma região (Brilha, 2005), as formas de relevo e afloramentos importantes, ou então a estabilização de formas dinâmicas (Gray, 2004). Isto pode levar à perda de alguns valores científicos e educativos da geodiversidade (Brilha, 2005).

No caso da desflorestação, uma das consequências mais graves é a erosão dos solos. No *Fruja Valley*, na Ilha de Rab (Croácia) a desflorestação de uma extensa área causou a erosão de solos que foram parcialmente erodidos por inundações rápidas. Este episódio erosivo expôs uma área significativa de paleosolos.

A erosão dos solos é também potenciada por incêndios florestais, facto que é agravado pela não existência, em Portugal, de procedimentos normalizados para o controlo da erosão e para a

protecção da rede hidrográfica (Pinho *et al.*, 2006). No entanto, os incêndios florestais podem proporcionar a observação de muitos elementos geológicos até então ocultos pela vegetação. Santisteban (2004) refere o caso de um incêndio em 1994, no sector central da província de Valência, que consumiu uma área de 60000 hectares, o qual proporcionou um novo atractivo paisagístico e cultural no vale de *Reatillo*, porque expôs muitos elementos geológicos ali presentes. Relativamente à agricultura, nomeadamente a industrializada, esta pode causar impactos muito negativos sobre os solos, derivado da utilização de maquinaria pesada (Brilha, 2005). Gray (2004) refere a destruição, parcial ou total, de pequenas formas de relevo devido à lavra para nivelamento dos terrenos, compactação dos solos e alterações químicas dos solos pela utilização de fertilizantes.

Um caso destacado em 2010 foi o da Rússia, quando uma vaga de incêndios destruiu centenas de milhares de hectares de terrenos agrícolas. Extensas áreas foram recuperadas para a agricultura através da secagem de pântanos, algo que além de destruir muitos elementos da geodiversidade acabou por potenciar os incêndios florestais naquelas regiões, promovendo por si mesmo a erosão dos solos (<http://bellona.org/news/climate-change/2010-08-comment-russias-2010-fire-catastrophes-could-be-repeated-what-can-be-done>).

Apesar da agricultura tradicional não ser genericamente uma ameaça à geodiversidade, há, por vezes, casos em que esta se concretiza. No Vale da Ribeira Principal, na Ilha de Santiago, em Cabo Verde, as populações locais conquistaram significativas áreas para a agricultura de subsistência nas vertentes deste vale. Para isso, inicialmente cortaram a vegetação, mas rapidamente a erosão causou graves estragos, impossibilitando rapidamente a agricultura nos locais até então conquistados às íngremes vertentes. Além deste facto, rapidamente um açude ali existente foi colmatado por sedimentos erodidos das vertentes a montante (Amilton, 2009).

Trimble & Mendel (1995) referem um caso, pouco retratado, sobre os impactos que o gado pode ter enquanto “agente geomorfológico”. Os impactos referidos por estes autores vão desde a compactação de solos, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial, erosão e aumento da disponibilidade de sedimentos. Destacam também a erosão em canais fluviais onde o gado se desloca a fim de beber água, nomeadamente nos locais em que o gado se mantém próximo da água.

2.3.4. Actividades turísticas e recreativas

As actividades ao ar livre, nomeadamente turísticas e recreativas, caso não sejam devidamente reguladas e/ou acompanhadas, podem revelar-se como uma grave ameaça para a geodiversidade. O aumento de actividades ligadas ao *outdoor* tem levado a um acréscimo diversificado de ameaças que importa referir. A utilização de veículos todo-o-terreno e de bicicletas de *downhill* em áreas sensíveis, caso de dunas ou vertentes declivosas, tem afectado a integridade de alguns elementos geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

Buchwal & Fidelus (2008) referem, neste âmbito, os impactos do pisoteio intensivo em trilhos pedestres no maciço de *Babia Góra* e nos Tatras ocidentais. Destacam que, apesar do impacto do turista ser limitado ao início e aceleração de processos, a maior influência na transformação do relevo tem a ver com os processos naturais morfogenéticos. A problemática centra-se em dois pontos principais: i) a incisão do pisoteio, que causa sulcos com profundidades diferenciadas, dependendo do substrato, pluviosidade e declive; ii) em resultado do primeiro, o turista tem tendência a alargar o trilho, podendo no caso de estudo referenciado por estes autores, significar um alargamento superior a 5 metros.

Forte (2008) aponta outro exemplo ilustrativo desta ameaça, destacando o caso de *Mont-Fort (Les Gentianes)*, nos Alpes suíços, onde uma moreia foi integralmente destruída para a construção de uma pista de esqui. Igualmente, Page & Meléndez (2010) descrevem os impactos da construção de uma estância de esqui (Formigal), nos Pirinéus espanhóis, sobre elementos da geomorfologia glaciária e peri-glaciária, destruindo ainda outros elementos da geodiversidade regional. A falta de análise destes elementos, no estudo de impacto ambiental, revelou-se como muito problemática em termos ambientais.

Também as grutas, a metade esquecida do carso (Forte, 2008), são, por vezes, alvo de graves danos e/ou destruição, devido a actividades turísticas e/ou recreativas. A visitação destes locais muito frágeis em termos ecológicos e geomorfológicos, tem causado estragos muitas vezes irreparáveis. Uma das consequências mais vulgares é a retirada e destruição de espeleotemas em várias grutas.

2.3.5. Recolha de amostras geológicas para fins não científicos

A recolha de amostras geológicas para fins não científicos, pode assumir-se como uma grave ameaça à geodiversidade, não tanto pelo facto do cidadão comum recolher fósseis que encontra

num qualquer percurso no campo, mas sim pelo facto de existirem colectores que delapidam fósseis e outras amostras geológicas, de forma ilegal, com fins comerciais.

Esta questão pode afigurar-se como uma verdadeira problemática, já que certas amostras podem ter grande valor científico e educativo (Brilha, 2005). Reimold (2005) refere o conceito de geovandalismo centrado nos impactos visuais em afloramentos, resultantes da recolha de amostras para fins científicos. Este último autor, à semelhança de Brilha (2005), refere a importância da criação de um código de ética para geocientistas. Page (2010) menciona, neste âmbito, o grave problema num local do sul de Inglaterra classificado pela UNESCO como património mundial (*Dorset and East Devon*) e que tem levado à depredação de amostras paleontológicas de importância internacional, com fins comerciais, por parte de colectores profissionais e, indirectamente, com o apoio de entidades oficiais.

2.3.6. Iliteracia cultural

Possivelmente, esta é a maior ameaça de todas aquelas até agora referidas, já que boa parte dessas resultam, em maior ou menor grau, da falta de conhecimento sobre algo tão importante como é a geodiversidade.

Datcharry (2004) refere que há ciências que têm melhor aceitação e respeito social do que outras, sendo as Ciências da Terra uma das que ainda tem menor receptividade, muito embora nos últimos anos se tenha assistido a uma melhoria ligeira. Este autor destaca que há factores, casos da escala temporal, imagens catastróficas, desconhecimento da imprensa e a falta de acção dos geólogos, que contribuem para o panorama actual.

Esta falta de conhecimento pode revelar-se muito problemática a vários níveis, já que o problema é transversal, afectando desde o cidadão até ao político, constituindo desta forma um problema que vai do gesto comum do cidadão até à decisão política. Esta questão pode ter sérias consequências numa área territorial potencialmente rica em elementos da geodiversidade.

Gray (2004) refere a degradação de locais de interesse geológico e mesmo paisagens, problemas decorrentes da falta de conhecimento técnico e científico na área das Ciências da Terra (Brilha, 2005). A falta de quadros ligados às Ciências da Terra em muitos organismos públicos leva inevitavelmente ao agravar do problema, já que assim não se consegue fazer a ponte entre a ciência e a sociedade. Os cientistas, por seu lado, necessitam de compreender a geodiversidade de forma a fornecer uma base para os seus estudos (Ruban, 2010).

As disciplinas afectas às Ciências da Terra necessitam ser mais humanizadas, eliminando os preconceitos dos especialistas face ao público. Para isso, será necessária a utilização de poderosos instrumentos de comunicação, os quais incluem a divulgação planificada, a comunicação, difusão e medidas complementares (Datcharry, 2004)

A destruição parcial ou perda das formas de relevo ou processos activos é, em boa parte, possível devido à inobservância, por desconhecimento, dos valores da geodiversidade. É necessário alargar o conhecimento da sociedade sobre os valores da geodiversidade (Ruban, 2010), de forma a mitigar boa parte das ameaças de origem antrópica.

Schmidt *et al.* (2005) retratam a falta de informação/formação dos autarcas sobre a vertente da conservação na natureza. Semelhante abordagem faz Forte (2008), mas no que se refere à falta de conhecimento sobre esta temática por parte da classe política, particularidade que impossibilita por vezes a protecção em termos legislativos da geodiversidade.

Faltam as medidas legislativas a nível municipal, regional e nacional, algo que tem reflexos negativos a nível do ordenamento do território. Cidadãos e políticos, conhecendo os valores da geodiversidade, será mais fácil, não só diminuir as ameaças, bem como estar melhor preparado para enfrentar os riscos naturais, criando também novas oportunidades para actividades *outdoor* (Ruban, 2010).

Capítulo 3

**ESTRATÉGIAS PARA A PROTECÇÃO E VALORIZAÇÃO
DA GEODIVERSIDADE**

3.1. A importância da componente legislativa na gestão da geodiversidade

Desde o primeiro terço do século XX que a denominada protecção da Natureza se tem centrado fortemente na biodiversidade, fazendo com que, até hoje, as estratégias de geoconservação estejam relegadas para segundo plano nas estratégias nacionais e internacionais de protecção da Natureza (Bruschi, 2007, Erikstad, 2013; Larwood *et al.*, 2013). A geodiversidade não é vista como estando ameaçada da mesma forma que a biodiversidade ou património cultural estão (Larwood *et al.*, 2013).

Este facto, além de redutor em termos de protecção da Natureza, torna-se limitador no que concerne à protecção e valorização da geodiversidade, tendo em conta a falta de suporte legislativo próprio, tal como este capítulo pretende demonstrar. Isto mesmo que vários elementos da geodiversidade estejam de alguma forma protegidos devido à legislação afecta à biodiversidade (Gray, 2004).

No entanto, a geodiversidade, tradicionalmente vista meramente enquanto habitat para os componentes biológicos da diversidade natural, começa a ser reconhecida como um valor legítimo e valioso em si mesmo (Jerie *et al.*, 2001). Sobre esta questão, Nieto *et al.* (2006) referem (p. 199) o crescente interesse pelo conhecimento, divulgação e protecção da geodiversidade, não só a nível científico, bem como a nível social. A recomendação Rec(2004)3 para a conservação do património geológico e para as áreas de especial interesse geológico, adoptada pelo Comité de Ministros do Conselho da Europa, a 5 de Maio de 2004, é um bom exemplo deste reconhecimento inicial.

A conservação da geodiversidade, *lato sensu* geoconservação, tem-se focado fundamentalmente ao nível dos geossítios. No entanto, há a necessidade de considerar a protecção e valorização da geodiversidade em termos mais abrangentes, ou seja a nível de paisagem (Gray, 2004; Stace & Larwood, 2006; Bruschi, 2007; Yeung, 2007; Sai & Marafa, 2009; Prosser *et al.*, 2011), contribuindo para, entre outros, a consideração da componente abiótica nos processos de selecção e classificação das áreas protegidas. Para que isso seja possível, a geodiversidade terá de ser considerada a todos os níveis em termos de processos de decisão no planeamento e gestão territorial, bem como às escalas local, regional e nacional (Stace & Larwood, 2006). Isto não esquecendo uma escala supranacional, tal como Kozłowski (2004) sugere, ao propor a criação de um atlas europeu da geodiversidade.

Jiménez *et al.* (2003) e Nieto (2004) sugerem que a geodiversidade deverá ser considerada no planeamento territorial, pois esta representa características e particularidades próprias de cada

região, as quais devem ser levadas em conta aquando da elaboração de planos de âmbito territorial. Vários autores (Nieto, 2004; Stace & Larwood, 2006; Lawrence *et al.*, 2007; Serrano & Flaño, 2007; Prosser *et al.*, 2011; Erikstad, 2013) reforçam a importância da geodiversidade, na medida em que esta pode contribuir de forma muito significativa para o planeamento e para as políticas ambientais, além da avaliação ambiental estratégica (Engering & Barron, 2007). Não esquecendo também as avaliações no âmbito dos estudos de impacte ambiental (EIA) e avaliação de incidências ambientais (AIncA).

A gestão da geodiversidade ocorre a níveis e contextos diferenciados, nacional, regional e local, bem como a nível da propriedade privada (Johansson *et al.*, 1999), facto problemático tendo em conta a complexidade associada. Tal como Gray (2004) refere (p.37), a geodiversidade aplica-se a várias escalas, desde a escala continental e oceânica até à escala elementar de átomos e iões, o que torna a gestão da geodiversidade um verdadeiro desafio no domínio do ordenamento do território. No entanto Gray (2004) menciona (p.175) que este mesmo desafio é possível de ultrapassar, bastando que para isso exista vontade política e recursos adequados.

Acerca da importância da geodiversidade, Kozłowski (2004) alerta para a necessidade de proteger a geodiversidade enquanto componente qualitativo para o Ser Humano e uma característica indispensável para o desenvolvimento da vida, particularmente a vida humana. Acrescenta ainda que, para manter o balanço indispensável à vida, há a necessidade de implementação de dois programas fundamentais, um relativo à conservação da diversidade biológica e outro relativo à conservação da geodiversidade.

Ainda neste âmbito, Gordon *et al.* (2006) sublinham a importância desta interligação entre biodiversidade e geodiversidade, enquanto parte de uma abordagem geo-ecológica, consistente com a abordagem ecossistémica na gestão da conservação, o que, segundo estes, enfatiza a integridade funcional dos ecossistemas e a manutenção dos processos naturais.

Como Bruschi (2007) salienta, uma estratégia para a geodiversidade deverá alicerçar-se em três eixos fundamentais: o conhecimento, a protecção e a utilização. Com vista à estruturação de uma estratégia deste tipo, Nieto *et al.* (2006) sugerem a criação de leis específicas para a geoconservação, dada a notória falha no domínio da protecção e utilização da geodiversidade enquanto recurso. O papel chave para a geoconservação está relacionado com o cada vez maior valor posto na geodiversidade (Larwood *et al.*, 2013).

Importa referir que, caso as estratégias de protecção e valorização da geodiversidade falhem, esse acontecimento poderá levar a consequências gradativas graves a nível ambiental, económico e

social (Stace & Larwood, 2006). Contudo, afigura-se como expectável o desenvolvimento destas estratégias ao nível europeu, isto tendo por base a opinião dos cidadãos europeus, expressa no relatório eurobarómetro 365, “*Attitudes of european citizens towards the environment*”, datado de 2011. Neste documento, cerca de 81% dos entrevistados, considera que a questão ambiental deve ser reforçada com legislação específica, já que as várias entidades não estão a fazer o suficiente em termos de gestão dos recursos naturais. Isto mesmo que a palavra geodiversidade não conste neste mesmo relatório.

Gray (2004), na sua estruturante obra “*Geodiversity – Valuing and conserving abiotic nature*”, dedica inteiramente um capítulo à descrição das várias formas com que organizações, governos ou outros mais, tentam de alguma forma proteger alguns elementos da geodiversidade, nomeadamente áreas de interesse geológico e geomorfológico. No caso português, Brilha (2005), efectua uma análise semelhante. Tendo em conta a existência destas descrições pormenorizadas, que se julgam representativas das realidades ainda constatadas, julga-se pertinente efectuar apenas um breve resumo das mesmas, a nível nacional e a nível internacional, privilegiando as formas mais abrangentes de protecção e valorização da geodiversidade, não esquecendo a vertente histórica da mesma.

3.2. O exemplo português

Portugal é ainda um país sem tradição no que concerne à protecção e valorização da geodiversidade, numa perspectiva global, o mesmo não se pode dizer sobre a protecção de alguns dos elementos da geodiversidade, onde, em termos específicos, já existe algum trabalho, expresso em algumas iniciativas concretas e com alguma visibilidade.

O facto de ainda não existir legislação específica, que permita enquadrar uma estratégia nacional para a protecção e valorização da geodiversidade, limita em boa medida a prossecução de uma estratégia deste género. Contudo, existe legislação que, tendencialmente, visa a protecção de vários elementos da geodiversidade, tal como a destacada por Rocha *et al.* (2008). Ou seja, em termos factuais, já existe uma matriz aglutinadora, a qual pode servir como base a uma estratégia nacional para a geodiversidade.

A Constituição da República Portuguesa, nomeadamente nos seus artigos 9^o (Tarefas fundamentais do Estado - alínea *e*), 66^o (Ambiente e qualidade de vida - ponto 2, alíneas *b*, *c*, *d*, *f*) e 93^o (Objectivos da política agrícola – alínea *d*), visam directa ou indirectamente a protecção de vários elementos da geodiversidade.

O mesmo se pode afirmar sobre a Lei nº 11/87 de 7 de Abril, que define a Lei de Bases do Ambiente, alterada posteriormente pela Lei nº 13/2002, de 19 de Fevereiro. Esta Lei, através dos artigos 2º (ponto 2) e 6º (Componentes ambientais naturais – alínea d) *O solo vivo e o subsolo*), enquadra igualmente a protecção e valorização da geodiversidade, mas de uma forma implícita.

De uma forma já mais estruturada, o Decreto Lei nº 19/93, de 23 de Janeiro, alterado pelo DL nº 227/98, de 17 de Agosto, estabelece(u) a Rede Nacional de Áreas Protegidas, consubstanciadas nas categorias de (1) parque nacional, (2) reserva natural, (3) parque natural e (4) monumento natural. Esta classificação possibilita a protecção de vários elementos da geodiversidade, nomeadamente através do artigo 3º, no qual refere, na sua alínea c, «*a preservação de biótopos e de formações geológicas, geomorfológicas ou espeleológicas notáveis*». De igual modo a alínea g, do mesmo artigo, o faz, ao referir como objectivo «*a protecção e a valorização das paisagens que, pela sua diversidade e harmonia, apresentem interesses cénicos e estéticos dignos de protecção*». Estes objectivos enquadram-se no artigo 4º da Lei nº 48/98, de 11 de Agosto, que estabelece as bases da política de ordenamento do território e do urbanismo, onde é referido o dever de ordenar o território.

No domínio das áreas protegidas, surge, no final do século XX, o DL nº 140/99, alterado pelo DL nº 49/2005, de 24 de Fevereiro, que transpõe internamente as directivas comunitárias relativas à Rede Natura 2000, onde constam aspectos ligados à protecção de elementos da geodiversidade, caso de habitats como por exemplo as lajes calcárias e grutas e algares.

Importa também referir a Resolução do Conselho de Ministros nº 152/2001, que adopta a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e Biodiversidade (ENCNB). Nesta estratégia, constam 10 opções estratégicas, sendo que 3 destas se afiguram como de interesse especial no domínio do conhecimento, protecção e valorização da geodiversidade, claro que de uma forma implícita:

- *Promover a investigação científica e o conhecimento sobre o património natural, bem como a monitorização de espécies, habitats e ecossistemas;*
- *Assegurar a conservação e a valorização do património natural dos sítios e zonas de protecção especial integrados no processo da Rede Natura 2000;*
- *Desenvolver em todo o território nacional acções específicas de conservação e gestão de espécies e habitats, bem como de salvaguarda e valorização do património paisagístico e dos elementos notáveis do património geológico, geomorfológico e paleontológico.*

Transposta através do DL nº 4/2005, de 14 de Fevereiro, a Convenção Europeia da Paisagem pode representar igualmente um importante contributo para a protecção e valorização da geodiversidade, tal como se pode avaliar no seu artigo 1º, nomeadamente através das alíneas:

d) «*“Protecção da paisagem” designa as acções de conservação ou manutenção dos traços significativos ou característicos de uma paisagem, justificadas pelo seu valor patrimonial...*»

e) «*“Gestão da paisagem” designa a acção visando assegurar a manutenção de uma paisagem, numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, no sentido de orientar e harmonizar as alterações resultantes dos processos sociais, económicos e ambientais.*»

f) «*“Ordenamento da paisagem” designa as acções com forte carácter prospectivo visando a valorização, a recuperação ou a criação de paisagens.*»

Posteriormente, surge o Decreto Lei nº 142/2008, de 24 de Julho, que estabelece o regime jurídico da conservação da Natureza. No seu artigo 5º, é estabelecida a Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN), a qual é composta pelo Sistema Nacional de Áreas Classificadas, no qual se inserem (1) as áreas protegidas integradas na Rede Nacional de Áreas Protegidas, (2) os sítios da lista nacional de sítios e zonas de protecção especial integrados na Rede Natura 2000 e (3) as demais áreas classificadas ao abrigo de compromissos internacionais. De igual modo compõe a RFCN a Reserva Ecológica Nacional (REN), a Reserva Agrícola Nacional (RAN) e o Domínio Público Hídrico (DPH).

Apesar de já estar na sua fase de conclusão, interessa salientar a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS), pré-estabelecida para o período de 2005 a 2015. Nesta, destaca-se o terceiro objectivo, a “*Gestão eficiente e preventiva do ambiente e do património natural*”, o qual apesar de estar claramente direccionado para a biodiversidade, inclui referência a elementos da geodiversidade, nomeadamente o recurso solo.

De âmbito regional, destaca-se o Decreto Legislativo nº 15/2007/A, que estabelece a Rede Regional de Áreas Protegidas dos Açores. No seu artigo 3º, alíneas e e f, é referida a necessidade de protecção de alguns elementos da geodiversidade, nomeadamente as formações geológicas, geomorfológicas e espeleológicas notáveis, bem como da própria paisagem. Os artigos 15º, 20º, 21º, 23º e 26º aludem todos a elementos da geodiversidade, sobre a qual devem incidir medidas

de protecção, concretamente valores ou aspectos geológicos e jazidas de fósseis e minerais de importância excepcional.

Esta protecção pode ser efectuada nos dois tipos de áreas protegidas, no Parque Natural de Ilha ou no Parque Marinho do Arquipélago dos Açores. Estes subdividem-se em 5 categorias, referidas no artigo 11º:

- Reserva Natural
- Monumento Natural
- Área protegida para a gestão de habitats ou espécies
- Área de paisagem protegida
- Área protegida de gestão de recursos

Igualmente de âmbito regional, é o Decreto Legislativo nº 24/2004/M, que define os objectivos para a conservação e preservação do património geológico da região autónoma da Madeira. Este DL é mais restrito do que o do Decreto Legislativo nº 15/2007/A, centrando-se mais numa lógica de geossítios e não tanto numa lógica de paisagem. A alínea *b* do artigo 2º (DL nº 24/2004/M) indicia esta questão:

b) Identificar, inventariar, classificar, documentar e divulgar os locais de interesse geológico.

Confere igualmente uma abordagem punitiva para com aqueles que, de alguma forma, explorem, alterem ou prejudiquem de alguma forma os elementos da geodiversidade, nomeadamente elementos geológicos de interesse, tal como é referido no artigo 4º, relativo às infracções. Igual abordagem tem o Código Penal, mais especificamente através do artigo 278º, relativo aos danos contra a Natureza e a Lei nº 50/2006, de 24 de Agosto, que estabelece o regime jurídico das contra-ordenações ambientais.

Como se pode avaliar pela legislação existente, e aqui apresentada, a protecção e valorização da geodiversidade é ainda uma medida por concretizar, dada a inexistência de legislação própria. Por este motivo reveste-se de primordial importância a introdução de medidas específicas que visem a concretização de uma estratégia nacional para a protecção e valorização da geodiversidade. A legislação portuguesa possibilita apenas a defesa e valorização de alguns dos elementos da geodiversidade, ou seja apenas parte de um todo, o que é claramente redutor em termos de protecção da Natureza. No entanto, esta base legislativa poderá ser uma base de muita utilidade

para o estabelecimento de uma estratégia nacional para a defesa e valorização da geodiversidade. Um primeiro passo poderá ser a introdução do termo “geodiversidade” na legislação já existente, através de pequenos ajustes na terminologia. Esta primeira acção levará, tendencialmente, à introdução deste conceito nos instrumentos de gestão territorial já existentes, bem como outros por introduzir no âmbito do ordenamento do território.

Em termos de valorização da geodiversidade, o cenário é semelhante, ou seja é centrado em alguns dos elementos da geodiversidade.

Na legislação nacional, a figura de Monumento Natural é a que melhor se adapta à classificação e protecção dos geossítios. O Monumento Natural do Cabo Mondego, criado através do Decreto Regulamentar nº 82/2007, de 3 de Outubro é um dos 7 monumentos naturais existentes em Portugal (<http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/nac/mon-natur>).

Outros exemplos que, de forma directa visam a protecção e valorização de elementos da geodiversidade, têm sido promovidos a nível regional ou municipal, destacando-se neste âmbito o Parque Paleozóico de Valongo.

Possivelmente um dos melhores exemplos de protecção e valorização de elementos da geodiversidade em Portugal, é aquele representado pela figura dos geoparques. Portugal tem actualmente 3 geoparques, os quais pertencem à Rede Europeia de Geoparques (REG), esta última criada em 2000. O Geoparque Naturtejo integrou a REG em 2006, seguindo-se o Geoparque Arouca, em 2009. Já o Geoparque Açores, entrou para a REG em 2013. Actualmente, o processo de candidatura do Geoparque Terras de Cavaleiros (Macedo de Cavaleiros) à REG encontra-se em avaliação.

Apesar dos geoparques funcionarem numa lógica centrada no desenvolvimento local sustentável, a protecção e valorização dos geossítios e conseqüente valorização da geodiversidade, constitui uma das estratégias fundamentais, em conjunto com o turismo e educação, para alcançar os objectivos do referido desenvolvimento.

A destacar neste âmbito é o projecto “Inventário Nacional de Geossítios de Relevância Nacional” (<http://geossitios.progeo.pt/>), que engloba cerca de 320 geossítios com elevado valor científico. Estes geossítios são representativos de alguns dos elementos da geodiversidade, caso de minerais, fósseis, rochas e geoformas, estando subdivididos pelas seguintes categorias temáticas:

- Neoproterozóico superior da Zona Centro-Ibérica
- Mármoreos paleozóicos da Zona Ossa-Morena

- Ordovícico da Zona Centro-Ibérica
- Paleozóico da região de Barrancos (Zona Ossa-Morena)
- Terrenos exóticos do nordeste de Portugal
- Transversal à zona de cisalhamento varisco em Portugal
- Geologia e metalogenia da faixa piritosa ibérica
- Carbónico marinho da Zona Sul Portuguesa
- Carbónico continental
- Granitóides pré-mesozóicos
- Província metalogénica W-Sn ibérica
- Mineralizações auríferas do norte de Portugal
- Evolução tectónica meso-cenozóica da margem ocidental ibérica
- Triássico Superior do SW ibérico
- Registo jurássico na bacia lusitaniana
- Sedimentos cretácicos na bacia lusitaniana
- Pegadas de dinossáurios no oeste da península ibérica
- Tectono-estratigrafia meso-cenozóica do Algarve
- Bacias terciárias da margem ocidental ibérica
- Relevo e drenagem fluvial no maciço ibérico português
- Sistemas cársicos
- Neotectónica em Portugal continental
- Vestígios de glaciações pleistocénicas
- Vulcanismo e morfologia do arquipélago dos Açores
- Vulcanismo e morfologia do arquipélago da Madeira

Este inventário tem também como intuito a sua integração no Sistema de Informação do Património Natural (SIPNAT - <http://www.icn.pt/sipnat/>) e o Cadastro Nacional dos Valores Naturais Classificados.

3.3. O exemplo internacional

Em termos genéricos, o panorama internacional não difere muito do nacional. No entanto há excepções à regra, tal como referido por Gray (2004) ao aludir aos casos da Europa, nomeadamente Reino Unido, da Austrália e da Nova Zelândia, dos Estados Unidos da América e

do Canadá. Estes países são referenciados por Gray (2004) como os melhores exemplos em termos de protecção e valorização da geodiversidade em termos internacionais.

No particular, as diferenças são assinaláveis, nomeadamente em termos históricos, pois as estratégias para a protecção e valorização de elementos da geodiversidade tiveram o seu início ainda no século XIX, ganhando um maior ênfase já no século XX. Durán *et al.* (2005) referem que, no caso de Espanha, as primeiras iniciativas para a conservação de elementos da geodiversidade surgiram no início do século XX. Contudo, um dos mais antigos exemplos será possivelmente o mencionado por Larwood *et al.* (2013), referindo Grube (1994), ao destacarem que já em 1668 existiam exemplos específicos de geoconservação, com a protecção da gruta turística de *Baumannshohle*, na Alemanha.

Também o exemplo dos planos de acção para a geodiversidade (LGAPs) e da estratégia andaluza para a geodiversidade se afiguram como diferenciadores no panorama internacional. Estes últimos serão descritos pormenorizadamente nos pontos 3.3.1 a 3.3.3.

Terá sido o movimento de conservação, iniciado nos Estados Unidos da América, que, entre outros, influenciou positivamente a forma como ainda hoje se pratica a conservação da Natureza, alavancando a criação de outros parques nacionais. A criação do primeiro parque nacional no panorama internacional, Yellowstone, a 1 de Março de 1872 (Gray, 2004) foi um marco de inegável importância em termos de conservação na Natureza. Apesar deste ter sido criado na base da biodiversidade regional, é um facto que a geodiversidade tem um papel preponderante na mesma, dado a geodiversidade ser considerada como a base da biodiversidade (Zeide, 1997; Gray, 2004; Santucci, 2005; Larwood *et al.*, 2013). É também um exemplo de como se pode proteger e conservar elementos da geodiversidade, a uma escala de paisagem, mesmo que não tenha sido esse o objectivo inicial.

No panorama europeu, a Suécia foi pioneira na criação de parques nacionais, já que foi ali que surgiram alguns dos primeiros parques nacionais europeus (Fernandes, 2004). No caso inglês, a figura de parque nacional surgiu em 1949, enquanto que na Escócia o mesmo ocorreu apenas em 2002 (Gray, 2004), sinal de que, mesmo numa mesma nação, as diferenças são um facto concreto e indelével.

A diferenciação constatada no panorama internacional explica-se também pela componente legislativa, a qual é preponderante neste domínio. Desde o longínquo “*American Antiquities Act*”, de 1906, até à Carta Europeia do Ordenamento do Território, de 1984, ou à Declaração Internacional dos Direitos à Memória da Terra (Digne, 1991), são várias as abordagens legislativas

e os acordos internacionais, que variam não só no âmbito, mas também na sua efectividade. Complementa-se esta questão com a já referenciada “*Recommendation Rec(2004)3 on conservation of the geological heritage and areas of special geological interest*”, com a Estratégia Temática para os Solos, criada pela da União Europeia no início de 2012 (http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm) e com o *Nature Diversity Act*, decretado na Noruega em 2009 (<http://www.regjeringen.no/en/doc/laws/Acts/nature-diversity-act.html?id=570549>). Em todas elas é possível discernir acerca da protecção e valorização de elementos da geodiversidade, que variam em termos de escala, desde a jazida de fósseis até ao elemento paisagístico de destaque.

Fica evidente, em termos de conservação não só da Natureza, no geral, mas também de vários elementos da geodiversidade, no particular, a estruturação desta através das figuras dos parques nacionais, das áreas protegidas ou através de outras figuras complementares.

Gray (2004) refere (p. 242) os exemplos da Hungria e da República Checa para mostrar o enquadramento das várias figuras legais existentes, nomeadamente:

- Parques nacionais
- Áreas de paisagem protegida
- Reservas de Natureza nacionais
- Monumentos naturais nacionais
- Reservas da Natureza
- Monumentos naturais

Outras figuras há, igualmente referidas por Gray (2004) (p. 211), caso dos “*heritage rivers*”, no Canadá, ou das “*national natural landmarks*”, dos “*national wild and scenic rivers*”, ou dos “*state scientific and natural areas*”, nos Estados Unidos da América.

Algo diferenciada é a Lei nº 9.985 (2000), que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza no Brasil (SNUC). O artigo 4º, na alínea XVII refere como objectivos a protecção das características relevantes, nomeadamente de natureza geológica, geomorfológica, paleontológica e espeleológica.

As unidades de conservação instituídas, dividem-se em dois grupos, (1) as unidades de protecção integral e (2) as unidades de uso sustentável.

As unidades de protecção integral subdividem-se em 5 categorias:

1. Estação ecológica;
2. Reserva Biológica;
3. Parque Nacional;
4. Monumento Natural;
5. Refúgio de Vida Silvestre.

Por seu lado, as unidades de uso sustentável, subdividem-se em 7 categorias:

1. Área de Protecção Ambiental;
2. Área de Relevante Interesse Ecológico;
3. Floresta Nacional;
4. Reserva Extrativista;
5. Reserva de Fauna;
6. Reserva de Desenvolvimento Sustentável;
7. Reserva Particular do Património Natural.

Não representando estratégias pensadas em termos de geoconservação propriamente dita, estas figuras legislativas possibilitam, em parte, a protecção e conservação de elementos da geodiversidade, considerados relevantes. Tal como Gray (2004) refere (p. 175), estes sistemas, também de geoconservação, variam mormente no seu âmbito e na sua efectividade.

Contudo a realidade actual não é a desejável, já que a ausência de estratégias nacionais e internacionais para a protecção, conservação e valorização da geodiversidade é negativa (Stace & Larwood, 2006). Sobre este propósito, Nieto *et al.* (2006) e Bruschi (2007) sublinham o facto de boa parte da legislação espanhola ser de carácter geral, o que limita a sua acção em prol da conservação da geodiversidade.

Há um caminho já iniciado, baseado não só nas figuras atrás referidas, mas também em figuras instituídas no Reino Unido, caso dos Locais de Interesse Científico Especial (SSSIs) e dos Locais de Interesse Geológico e Geomorfológico (RIGS).

De acordo com o Departamento para o Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais, do Reino Unido, os Locais de Interesse Científico Especial visam a conservação e protecção da vida selvagem e do património geológico e fisiográfico, para o benefício das gerações actuais e futuras

(<https://www.gov.uk/protected-areas-sites-of-special-scientific-interest>). Existem actualmente cerca de 4000 SSSIs (Whiteley & Browne, 2013), os quais representam 8% do território do Reino Unido. Importa referir o facto de que os SSSIs foram instituídos com base no documento “*wildlife and countryside act*”, datado de 1981 (<http://jncc.defra.gov.uk/page-1377>) e já com várias alterações posteriores (1985; 1991; 2001; 2004).

Sobre os SSSIs, Gray (2004) refere (p. 225) que estes são uma rede de sítios que representam a geodiversidade do Reino Unido.

Para locais não abrangidos pelos SSSIs, e conseqüentemente não protegidos por esse enquadramento legislativo, existe uma outra figura de protecção com vista à sua conservação, os denominados locais de importância geológica e geomorfológica regional, ou RIGS, introduzidos nos anos 90 do século XX (Gray, 2004).

“Regionally Important Geological and Geomorphological Sites’ (RIGS) are currently considered the most important places for Earth science outside statutorily protected land such as Sites of Special Scientific Interest (SSSIs). RIGS are identified by locally developed criteria. They are important as an educational, historical and recreational resource. The designation of RIGS is one way of recognising and thereby protecting important Earth science and landscape features for the future.”

in. RIGS Handbook (p. 6)

Este enquadramento legislativo, mesmo apesar de relacionado com a protecção e conservação de elementos da geodiversidade, portanto redutor, afigura-se como uma boa base para aplicação do domínio da geodiversidade, já que inclui, em parte, o âmbito paisagístico, mais abrangente em termos espaciais, facto de especial importância no que concerne à protecção e valorização da geodiversidade.

Precisamente no âmbito paisagístico, há a referenciar a *Carta della Natura*, que subdivide Itália em unidades fisiográficas de paisagem (<http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/sistema-carta-della-natura>), ou a divisão de Inglaterra em 120 sectores, denominados por “*natural areas*” (Gray, 2004). Estes são dois exemplos de uma lógica de conservação estratégica que se afigura como uma boa base para a protecção e conservação da geodiversidade nacional. Esta pode e deve ser naturalmente ser complementada com outras estratégias globais, casos da convenção europeia da paisagem, da estratégia temática para os solos, da União Europeia, ou mesmo com a política agrícola comum. Contudo há algo que deve ser evitado, ou seja a sobreposição/duplicação de figuras que incidam sobre os mesmos elementos da

geodiversidade, daí a necessidade de se trabalhar em prol de uma estratégia única, que englobe os níveis local, regional, nacional e internacional.

Exemplo a destacar, especificamente já no âmbito da protecção e valorização da geodiversidade, é o proposto pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que apresentou, no início de 2010, mapas de geodiversidade estaduais e um mapa de geodiversidade para o país (<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1339&sid=9>).

Numa primeira fase foram disponibilizados os mapas para os Estados do Amazonas, Bahia, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Piauí, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia e São Paulo. A escala de cada um destes mapas varia conforme a escala de trabalho utilizada por cada um destes, nos seus planos de gestão territorial, sendo que por exemplo o mapa do Estado da Rondônia foi elaborado à escala 1: 750 000, enquanto que para o Amazonas a escala utilizada foi 1: 1 500 000. O mapa de geodiversidade do Brasil foi elaborado à escala 1: 2 500 000.

Segundo a CPRM, estes mapas foram elaborados com o intuito de «*oferecer aos diversos segmentos produtivos, sociais e ambientais, uma tradução do conhecimento geológico-científico estadual, com vistas a sua aplicação ao uso adequado do território*». Ainda de acordo com a CPRM, o público-alvo é variado, desde investigadores, actores de desenvolvimento local, especialistas em gestão e/ou ordenamento do território e empresas de mineração.

A análise dos mapas referidos, apesar de algo complexa, mostra que estes representam um manancial substancial de informação relativa à geodiversidade, facto que, claramente, é uma mais-valia para a protecção e valorização da geodiversidade no território brasileiro, o que se afigura como uma mais-valia para o ordenamento do território. Contudo importa referir que os mapas em causa não são o resultado de uma análise quantitativa da geodiversidade, mas sim o resultado de uma análise que identifica/expõe vários elementos da geodiversidade. A análise destes, por parte de especialistas, permite percepcionar quais as áreas com maior geodiversidade, mas não possibilita comparações entre Estados, o que acaba por ser redutor do ponto de vista do ordenamento do território.

Do lado oposto, há países onde a protecção e conservação da geodiversidade está ainda no seu início. Ahluwalia (2006) refere, para o caso da Índia, que mesmo apesar da sua história geológica de 4000 milhões de anos, e consequente geodiversidade, a protecção e valorização da geodiversidade é ainda muito incipiente.

Finalizando este ponto, há que salientar também o papel potencial de entidades como a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), as Nações Unidas, através da UNESCO,

para o estabelecimento e concretização de uma estratégia global para a protecção e conservação da geodiversidade. Isto através de programas próprios, já existentes, caso do programa da IUCN 2013-2016, ou do Programa para o Ambiente, da UNESCO. Também programas específicos, definidos por estas ou por outras entidades ou associações profissionais e/ou amadoras, caso da PROGEO, devem ser desenvolvidos com base no muito *know-how* já existente e devidamente estabelecido, embora não totalmente efectivado.

A Rede Europeia dos Geoparques, já referenciada, bem como a Rede Mundial de Geoparques (<http://www.globalgeopark.org/>), afiguram-se como exemplos de boas práticas no domínio da geoconservação, os quais devem ser tomados em conta na prossecução de políticas que visem a protecção e conservação da geodiversidade (Larwood *et al*, 2013; Erikstad, 2013).

3.3.1. Planos de acção para a geodiversidade

Os planos de acção para a geodiversidade, denominados no Reino Unido como “*Geodiversity Action Plan*” (GAP), surgiram inicialmente através da transposição de um processo de planificação já largamente utilizado, e normalmente aceite (Burek & Potter, 2006), no mundo dos negócios. Este processo de planificação é utilizado desde 1996, no Reino Unido, pela comunidade conservacionista que trabalha no domínio da biodiversidade, que, desde então, o utiliza nos planos de acção para a biodiversidade (BAP – Biodiversity Action Plan). No entanto, apenas no início do século XXI se transpôs este processo para utilização nos planos de acção para a geodiversidade (Burek & Potter, 2004).

Segundo Burek & Potter (2004), este processo facilita a análise de um assunto complexo, permitindo decompor a sua análise através de objectos mais pequenos, os quais podem ser transformados em acções e empreendimentos identificados com o objectivo inicial.

Decorrente da génese de implantação dos planos de acção para a geodiversidade ser de tipo *bottom-up*, surgiram primeiro os planos de acção locais para a geodiversidade (LGAP), em vez de um plano de acção nacional para a geodiversidade (UKGAP).

Salienta-se igualmente a existência dos planos de acção para a geodiversidade para a indústria da mineração (cGAP), explanados por Thompson *et al.* (2006).

3.3.2. Planos de acção local para a geodiversidade

Os planos de acção local para a geodiversidade, denominados no Reino Unido como “*Local Geodiversity Action Plans*” (LGAP), visam genericamente a protecção da geodiversidade num determinado território, normalmente coincidente com uma área administrativa (Burek & Potter, 2003). Actualmente, existem no Reino Unido cerca de 40 planos de acção local para a geodiversidade, tendo estes formalmente reconhecimento na política nacional (Poole *et al.*, 2010). Apesar dos objectivos a que se propõem os planos de acção local para a geodiversidade serem comuns, há variações ligeiras tendo em conta as particularidades de cada território (Burek & Potter, 2003).

Estes planos surgiram através de uma abordagem de tipo *bottom-up* e não foram impostos pela administração central, contrariamente aos planos de acção local para a biodiversidade (LBAP). Burek & Potter (2003) referem que a natureza holística de alguns LGAP encoraja o sentido de pertença e participação dos parceiros e comunidades locais.

Facilmente se compreende assim que tenham sido os LGAPs a surgir primeiro, em vez do plano de acção nacional para a geodiversidade no Reino Unido (UKGAP).

Burek & Potter (2004), referem que os LGAPs estão a ser utilizados no Reino Unido enquanto ferramenta de promoção efectiva da geoconservação e que estes planos são um poderoso instrumento de difusão da temática da geodiversidade a nível internacional, seja a nível da população como da comunidade científica associada à geoconservação.

A génese dos planos de acção local para a geodiversidade surgiu num *workshop* ocorrido em Chester, em Janeiro de 2002. O intuito deste evento foi o da discussão profunda acerca dos objectivos, alvos e indicadores de geoconservação aos níveis nacional e local no Reino Unido (Burek & Potter, 2003).

Segundo os mesmos autores, o objectivo principal era o de equacionar a questão do ponto de vista organizacional, ou seja a melhor forma e mecanismos próprios para o fazer. Daí o possível enquadramento dos LGAPs, no âmbito da estratégia de geoconservação, retratado naquele *workshop*.

No balanço deste evento, definiram-se os objectivos, alvos e indicadores nacionais sobre os quais iria incidir a estratégia.

Relativamente aos objectivos nacionais, destacam-se os seguintes:

- Mostrar os exemplos mais ilustrativos da história geológica, em termos científicos, educacionais e culturais;
- Promover nas comunidades locais estes exemplos e o conceito de geoconservação;
- Promover a criação de uma estrutura a nível nacional para a geoconservação, na forma de um plano de acção nacional para a geodiversidade (GAP);
- Promover auditorias e estabelecimento de bases de dados dos exemplos mais ilustrativos;
- Influenciar as políticas territoriais.

No que concerne aos alvos da estratégia, estes passariam fundamentalmente pela identificação e protecção dos locais numa fase inicial, sendo que, de seguida, incidir-se-ia sobre a promoção e interpretação dos locais.

Posteriormente haveria lugar à identificação das necessidades e vontades do público. Acerca deste último ponto, Burek & Potter (2006) referem que as pessoas têm a tendência de mais facilmente se envolverem em iniciativas de âmbito e impacto local, mais directas e próximas, em vez de iniciativas menos tangíveis de âmbito nacional, dando o exemplo da Agenda 21 Local. As parcerias locais fortes são também consideradas como que um garantia de sucesso (Burek & Potter, 2003). Ainda no domínio dos alvos nacionais referenciados em Chester, sublinhou-se a importância da inclusão da geologia nos currículos escolares, não através da introdução desta temática noutras disciplinas, mas sim através da criação da própria disciplina.

Já no que se refere aos indicadores nacionais, destacou-se o uso dos locais de interesse geológico pela comunidade escolar, e a integração, ou não, da temática no ordenamento e gestão do território. O sentido de pertença e inclusão das comunidades locais no processo, foram também considerados como bons indicadores a nível local e nacional.

O último indicador considerado, mas não menos importante, foi a percentagem de área territorial associada à estratégia, a analisar num determinado período de tempo. Uma das formas sugeridas de modo a garantir uma grande abrangência territorial dos LGAPs, foi que estes fossem desenvolvidos, por exemplo, através das áreas afectas aos municípios, os quais teriam papel crucial na sustentabilidade do processo (Burek & Potter, 2003).

Foram ainda detectados potenciais problemas que poderiam surgir no decorrer da estratégia de implementação dos LGAP:

- A variabilidade no desenvolvimento dos grupos RIGS pode causar problemas onde a presença destes grupos é incipiente ou inexistente. Isto porque tendencialmente seriam estes grupos a encabeçar os LGAPs;
- A falta de consciencialização dos actores de desenvolvimento territorial, seja ao nível local, regional ou nacional;
- A escassez de pessoas com conhecimentos técnicos, disponíveis para dirigir este processo;
- A dificuldade de verter os LGAPs nos instrumentos de ordenamento e gestão do território.

As linhas mestre que devem orientar um plano de acção local para a geodiversidade são:

- Estabelecimento de equipas multidisciplinares;
- Representação ponderada dos cidadãos locais, através de designação própria, aos níveis local, regional e nacional;
- Recolha de dados normalizados;
- Decisões defensáveis do ponto de vista técnico;
- Promoção dos sistemas de informação geográfica (SIG) em LGAPs;
- Estabelecimento e maximização de uma estrutura pedagógica própria;
- Divulgação nas comunidades locais afectas aos LGAPs;
- Aconselhamento no domínio do ordenamento e gestão do território;
- Monitorização permanente e estabelecimento de procedimentos próprios de investigação;
- Interligação dos conteúdos dos planos de acção local para a geodiversidade (LGAP) aos planos de acção local para a biodiversidade (LBAP).

O desenvolvimento dos planos locais de acção para a geodiversidade, em conjunto com outros planos de acção, mostra a importância não só do carácter multidisciplinar pelo qual se deverão pautar os LGAP, bem como sublinha a questão da escala espacial e temporal inicialmente

destacadas por Burek & Potter (2003) e mais tarde confirmadas por Poole *et al.* (2010). Este último autor refere a necessidade de identificar sobreposições e áreas comuns entre os planos de acção para a paisagem, biodiversidade e geodiversidade, facto que também pode ajudar a mitigar a duplicação de actividades e relatórios.

3.3.3. Plano de acção nacional para a geodiversidade

Embora já em 2003 Burek & Potter (2003) perspectivassem o surgimento de um GAP, apenas em 2006 se iniciou o processo que tinha como objectivo final levar à criação de um plano de acção nacional para a geodiversidade, através da reflexão de um pequeno grupo sobre o que deveria ser um plano deste tipo. Em 2007, reuniu-se um grupo da comunidade geológica mais abrangente, num *workshop* ocorrido em *Chester*, com o intuito de aprofundar esta questão. Surgiu então um rascunho base, sobre o qual, o agora grupo central, deveria fazer avançar em termos de discussão mais abrangente.

Genericamente, o Plano de Acção para a Geodiversidade no Reino Unido (UKGAP) estabelece uma estrutura para a acção sobre a geodiversidade naqueles territórios, promovendo as boas práticas e englobando organizações, grupos cívicos e indivíduos envolvidos de alguma forma com esta temática. De forma declarada, este grupo tenta fazer deste processo um mecanismo de influência sobre os políticos e sobre as suas políticas no domínio territorial, além de influenciar alguns organismos de forma a que estes possam financiar o projecto.

Em 2008, o grupo envolvido neste plano nacional para a geodiversidade era constituído por dezassete entidades, de entre as quais estavam associadas, em parceria, a indústria extractiva, organismos públicos vários, universidades e várias associações de carácter não lucrativo.

O objectivo base deste plano de acção era a promoção do ambiente ideal para que a geodiversidade do Reino Unido pudesse ser efectivamente compreendida, valorizada e conservada, impulsionando desta forma o desenvolvimento sustentado daquele território e das actividades antrópicas ali implantadas.

Os documentos base que consubstanciam este plano de acção para a geodiversidade, disponíveis em <http://www.geoconservation.com/>, destacam a importância deste plano no domínio da interligação entre as escalas nacional, regional e local, direccionando assim melhor os esforços no que concerne aos alvos e práticas do plano de acção para a geodiversidade.

Numa primeira fase, o alvo deste plano foi direccionado para a comunidade geológica, de forma a se conseguir a já referenciada estrutura base para o plano de acção. Só após esta fase

estruturante se poderia alargar o âmbito, quer das pessoas ou entidades envolvidas, quer o âmbito do próprio plano de acção, descentrando, em parte, o âmbito da geologia, permitindo assim fortalecer os laços entre os cidadãos, paisagem e a sua cultura.

Em termos de funcionamento deste plano para a geodiversidade, este estabelece o âmbito, objectivos, alvos e potenciais actuações e contribuidores. Intenções concretas englobadas em três fases amplas, a curto, médio e longo prazo.

Mesmo numa escala temporal reduzida, no decorrer da planificação desta estratégia, houve melhoramentos em termos de objectivos a alcançar, facto permitido pelo processo dinâmico que permite constantes contribuições dos parceiros individuais ou institucionais, além do movimento associativo.

Após as duas primeiras fases, que iniciaram o processo que levou ao estabelecimento deste plano de acção para a geodiversidade no Reino Unido, ocorridas em Outubro de 2006 e Março de 2007, concluíram-se mais quatro fases, de Fevereiro a Abril de 2008 (consulta do esboço do plano), Junho de 2008 (reunião do grupo base de forma a discutir os resultados da consulta e analisar os próximos passos a tomar), de Outubro a Novembro de 2008 (consulta final do esboço final do plano; desenvolvimento de *website* próprio e lançamento do mesmo - <http://www.ukgap.org.uk/>) e Janeiro de 2010.

No primeiro documento, datado de Janeiro de 2008, são referenciados cinco objectivos para este plano, enquanto que em Outubro do mesmo ano, já tinha sido proposto mais um objectivo para o plano de acção para a geodiversidade. O lançamento oficial do documento final do UKGAP ocorreu em 2011.

Apresentam-se os objectivos genéricos, repartidos em 6 temas que constam no UKGAP:

1. Promover o conhecimento associado à geodiversidade;
2. Influenciar as políticas de planeamento territorial, bem como a legislação associada;
3. Recolher e gerir a informação associada à geodiversidade nacional;
4. Gerir e conservar a geodiversidade nacional;
5. Inspirar os cidadãos para o gosto pela geodiversidade nacional;
6. Promover a sustentabilidade no aproveitamento da geodiversidade.

Estes objectivos visam a prossecução de objectivos claros, os quais têm alvos bem delineados e indicadores próprios que visam a sua monitorização efectiva. Estes indicadores funcionam como mecanismo que possibilita a medição do progresso do UKGAP face aos objectivos preconizados, ultrapassando a, até então, limitação já identificada por Poole *et al.* (2010).

Capítulo 4

**AVALIAÇÃO DA BIODIVERSIDADE E RELAÇÕES
COM A GEODIVERSIDADE**

4.1. O conceito de biodiversidade

Biodiversidade e geodiversidade são dois conceitos indissociáveis. Nesta lógica, consideramos pertinente abordar não só o conceito de biodiversidade e os métodos de quantificação, bem como as relações entre geodiversidade e biodiversidade.

Utilizado, por vezes, como abreviatura de diversidade biológica, o termo “biodiversidade” é um conceito complexo e abrangente (Fig. 4.1.), que cobre genes, espécies, ecossistemas e funções dos ecossistemas (Gray, 2004; Campos & Isaza, 2009) podendo ser interpretado e analisado a vários níveis e escalas (Pearce & Moran, 1994; Lévêque, 2001). Dentro desta abrangência, situa-se a diversidade dos ecossistemas relativa à variedade e variabilidade temporal dos habitats (Lévêque, 2001), componente referenciada por Rousseau & Van Hecke (1999), Tews *et al.* (2004) e Adler *et al.* (2005).

A sua interpretação pode, inclusive, variar consoante o grupo profissional ou social que a avalia (Araújo, 1998; Hamilton, 2005), o que significa que diferentes motivações para avaliar componentes ou aspectos da biodiversidade levam a sistemas de valores diferenciados (Duelli & Obrist, 2003).

A utilização dos termos “biodiversidade” e “diversidade biológica” não é, no entanto, pacífica. Gray (2004) refere que até à década de 80, do século XX, utilizou-se o termo “diversidade biológica”, sendo que posteriormente o termo foi reduzido para “biodiversidade”.

Lévêque (2001) afirma que a questão da biodiversidade é colocada porque o ser humano age com uma amplitude sem precedentes na diversidade do mundo vivo. Acrescenta que, neste contexto, trata-se de um problema ambiental no sentido estrito, já que a origem do problema e as respectivas respostas a dar residem nos comportamentos sociais e nas escolhas das sociedades em matéria de desenvolvimento económico. Desta forma Lévêque (2001) sustenta que lhe parece razoável que se reserve a utilização do termo “biodiversidade” para actividades ligadas à protecção dos meios naturais no contexto do desenvolvimento sustentável. Por este motivo, o autor sublinha que prefere utilizar o termo “diversidade biológica”, já que considera que este se adapta perfeitamente ao âmbito dos estudos ecológicos, tal como encarado por Lévêque (2001).

Contudo, há igualmente outro termo utilizado, por vezes, como sinónimo de biodiversidade. Hamilton (2005) refere a diversidade de espécies, ou riqueza de espécies como termos análogos ao inicialmente referido, utilizados largamente em ecologia e gestão dos recursos naturais.

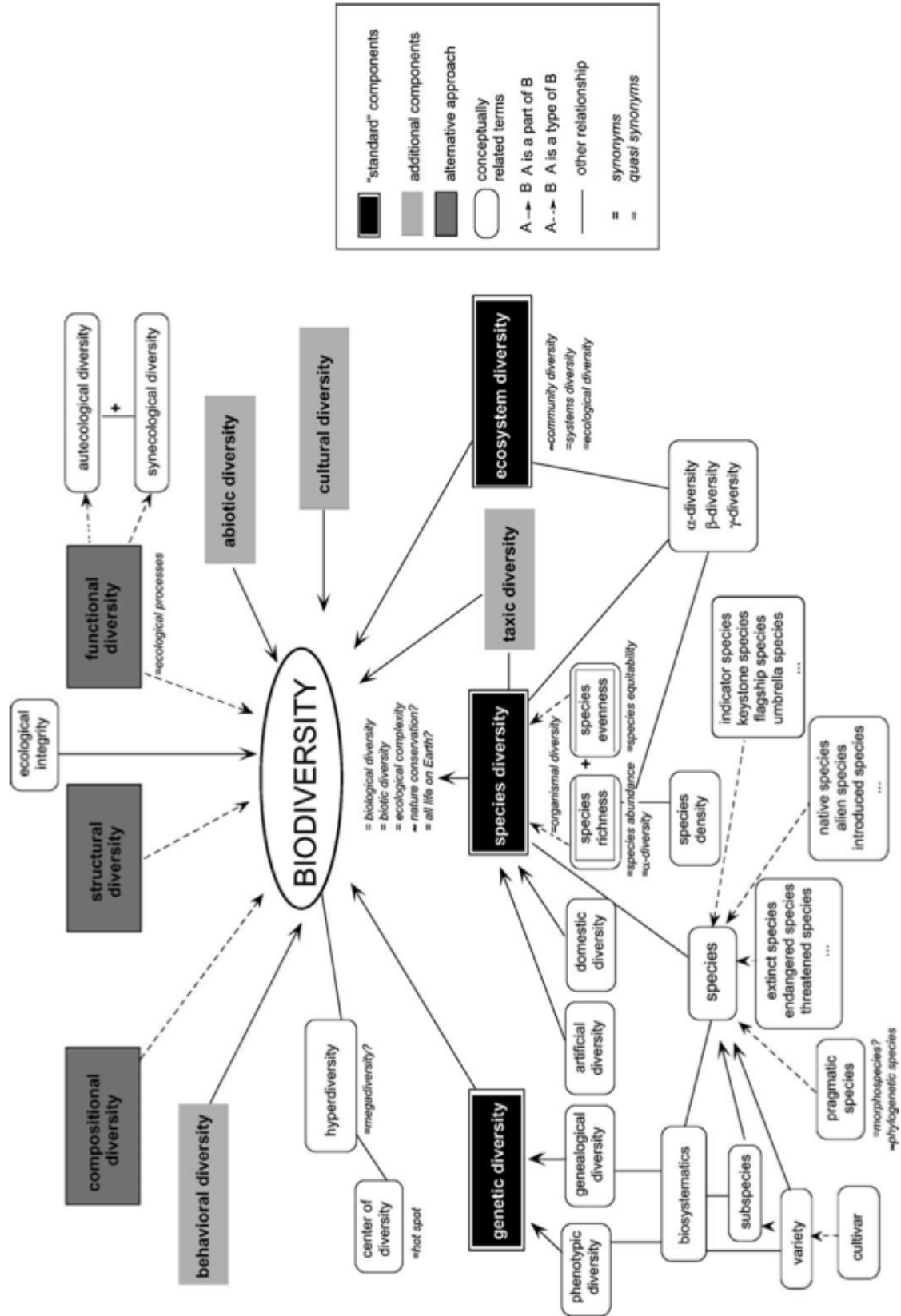


Figura 4.1. – Esquema representativo da complexidade inerente ao conceito de biodiversidade (Duelli & Obrist, 2003).

A este propósito, You *et al.* (2009) sublinham esta ligação, quando referem que a biodiversidade ao nível de espécies, frequentemente denominada como “diversidade de espécies”, é um conceito nuclear das comunidades ecológicas e conservacionistas.

O termo “biodiversidade” foi introduzido pelos naturalistas, preocupados com a depredação deste recurso, tendo sido posteriormente popularizado no decorrer da convenção sobre diversidade biológica, por ocasião da conferência sobre o postulado desenvolvimento sustentável, ocorrida no Rio de Janeiro, Brasil, em 1992 (Lévêque, 2001). Hamilton (2005) refere que o conceito de biodiversidade ganhou forte proeminência aos níveis político, de gestão, público e científico, sendo, no entanto, um conceito questionável para os ecólogos.

Apesar do uso globalizado do termo “biodiversidade”, não existirá, segundo Kim & Schwobbermeyer (1999) uma definição científica totalmente satisfatória da mesma. Segundo o mesmo autor, que menciona Wilson (1993), mesmo no domínio científico, há várias questões problemáticas, já que a biodiversidade é geralmente aceite como sendo um fenómeno que ocorre a níveis múltiplos de organização biológica. Kim & Schwobbermeyer (1999) destacam ainda que os conceitos sobre biodiversidade, que focam os diferentes níveis de organização biológica (e.g. biologia molecular; morfologia; ecologia; biologia evolucionária) são, por vezes, de difícil pacificação, algo considerado como negativo pelos autores.

Hamilton (2005) refere que, apesar de largamente utilizado, este termo raramente é definido, sendo algumas das definições existentes vagas, reflectindo provavelmente a pouca clareza do conceito. Rousseau & Van Hecke (1999) referem que este mesmo termo é utilizado demasiadas vezes como palavra inapropriada, sem que tenha um significado claramente definido. A este propósito, Hamilton (2005) destaca que houve uma confusão no que concerne ao real significado da biodiversidade e a sua ligação com conceitos mais tradicionais como a diversidade de espécies. Este problema dever-se-á largamente ao facto de existirem conceitos e objectivos divergentes, os quais, por vezes, são de natureza política ou económica, em vez de científica (Kim & Schwobbermeyer, 1999). O facto de ser um conceito bem disseminado pela política e gestão territorial, é considerado por Hamilton (2005) algo de positivo, já que pode representar uma ferramenta útil de uma perspectiva política e sociológica, mesmo tendo em conta que poderá implicar limitações teóricas substanciais, acrescenta.

You *et al.* (2009) definem a biodiversidade simplesmente como a soma de todas as variações bióticas, desde o nível de genes até aos ecossistemas.

O termo “biodiversidade” é utilizado para descrever o número, a variedade e a variabilidade de organismos vivos numa determinada área, englobando a totalidade de vida na Terra (Pearce & Moran, 1994). Desta forma, a biodiversidade inclui a abundância total de organismos, espécies, populações, comunidades e os seus ecossistemas, conjuntamente com todas as suas interrelações complexas (Zeide, 1997).

De forma semelhante, mas mais completa, Margules *et al.* (2002) referem que o conceito de biodiversidade abarca a hierarquia biológica completa, desde moléculas até aos ecossistemas. Acrescentam que inclui entidades reconhecíveis a cada nível (gene, taxa, comunidade, etc.) e as interações entre estas (ciclo de nutrientes e energia, predação, competição, mutação e adaptação, etc.). Destacam ainda que estas entidades são heterogéneas, significando que a cada nível todos os membros podem ser distinguidos entre cada um deles.

Centrando esta questão no caso português, a Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU, 2007), refere que a biodiversidade, o mesmo que “diversidade biológica” é a «*variabilidade entre os organismos vivos de todas as origens, incluindo, inter alia, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complementos ecológicos dos quais fazem parte. Compreende a diversidade dentro de cada espécie, entre as espécies e dos ecossistemas*».

Por último, destaca-se o Decreto-Lei (DL) nº 142/2008, de 24 de Julho, documento que constitui formalmente a Rede Fundamental de Conservação da Natureza (RFCN), estruturante no domínio da conservação da Natureza em Portugal. Neste Decreto-Lei, no Artigo 3º, *alínea b)* a biodiversidade é definida como «*a variedade das formas de vida e dos processos que as relacionam, incluindo todos os organismos vivos, as diferenças genéticas entre eles e as comunidades e ecossistemas em que ocorrem*».

4.2. O intuito dos estudos de quantificação da biodiversidade

A quantificação da biodiversidade é complexa, não existindo sequer concordância dos ecólogos neste ponto (Rousseau & Van Hecke, 1999). Pearce & Moran (1994) mencionam que, desde 1950, os debates sobre a medição da biodiversidade preencheram parte significativa da literatura ecológica, pormenor que mostra, em parte, a complexidade desta questão.

Muitas das discussões sobre o tema andam em redor da conveniência de índices como o de Shannon-Wiener, Simpson, ou McIntosh, relatam Rousseau & Van Hecke (1999), mencionando

Magurran (1991), índices que, segundo os mesmos, focam especificamente a dependência na dimensão da amostra ou possíveis interpretações.

Já para os taxonomistas, a quantificação da biodiversidade representa a medição dos números e diferença entre atributos taxonómicos (Araújo, 1998).

A destacar, dada a sua importância neste domínio, é o facto da convenção sobre a diversidade biológica não especificar nenhum método de cálculo da biodiversidade (Zeide, 1997), daí, talvez, Araújo (1998) mencionar que apesar da utilização generalizada do conceito de biodiversidade, ainda não ter sido possível operacionalizar nenhuma das múltiplas definições, com vista a possíveis aplicações em planeamento, ordenamento e conservação.

Segundo Faith (2002), a quantificação da biodiversidade coloca um duplo problema. Em primeiro lugar situa-se a questão do que afinal deveremos contar, algo que por si mesmo já será complexo, seguindo-se a segunda questão prática, que tem a ver com a forma de efectuar esta mesma contagem. Desta forma, e segundo o mesmo autor, o modo mais correcto para quantificar a biodiversidade será através da taxonomia e do teste padrão filogenético. Isto, porque será pouco provável, senão impossível (Sarkar *et al.*, 2006), contar todas as características observadas e não observadas num determinado território.

Este último ponto é salientado de uma outra forma por You *et al.* (2009), já que estes salientam que até à data não há um número único que consiga captar tal conceito sem perda de informação. Isto, muito embora tenham havido muitas tentativas de expressar quantitativamente a biodiversidade, mas no que se refere à diversidade de espécies, a qual pode ser medida e interpretada de diferentes formas.

Duelli & Obrist (2003) destacam igualmente esta questão, quando afirmam que nenhum indicador único conseguirá ser planeado, inventado ou desenvolvido. Complementam que, para cada aspecto da biodiversidade, será necessário o seu próprio indicador, algo que segundo os mesmos, representa uma dificuldade adicional, de forma a se chegar a um consenso no uso de indicadores de biodiversidade. Esta dificuldade adicional dever-se-à ao facto dos indicadores representarem escolhas diferenciadas para valores e medidas. Note-se, que as pessoas envolvidas no desenvolvimento ou utilização de indicadores de biodiversidade, são influenciadas por objectivos pessoais ou profissionais. Todas elas pretendem medir a biodiversidade, muito embora elas se liguem a aspectos diferenciados desta (Duelli & Obrist, 2003).

Mesmo a um determinado nível de organização biológica, a caracterização quantitativa da biodiversidade não é trivial (Kim & Schwobbermeyer, 1999), isto mesmo tendo em conta que há

muitas formas de medir a biodiversidade (Hamilton, 2005). Por exemplo, Zadac (2008) menciona que uma estrutura a nível de paisagem pode providenciar um contexto espacial quantitativo para a análise da biodiversidade a múltiplas escalas.

Sarkar *et al.* (2006), mencionando Takacs (1996) e Flather *et al.* (1997), referem que a biodiversidade é impossível de definir com precisão, relativamente à diversidade a cada nível da organização taxonómica, estrutural e funcional. Acrescenta que mesmo para *taxa* bem conhecidos, caso de aves e mamíferos, a informação georreferenciada sobre a sua distribuição é tipicamente incompleta.

Gontier (2006) destaca sobre a informação georreferenciada, mencionando Scott *et al.* (2002), que o uso de modelos ecológicos baseados nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), enquanto ferramenta de predição, tem certas limitações, as quais terão de ser consideradas. Este último facto não nos parece de todo relevante, na medida que todos os modelos de predição têm algum tipo de limitação, as quais podem ser mitigadas em maior ou menor grau, especialmente tendo em conta a grande variedade e maior capacidade de análise espacial das ferramentas SIG disponibilizadas na última década.

Dando como exemplo as espécies e outras componentes da biodiversidade, Gontier (2006) salienta que estas não são provavelmente modeladas com sucesso de forma igualitária, por razões tais como as diferenças na especificidade dos habitats e em como a informação geográfica coincide com as necessidades dos habitats. Isto, para demonstrar que as interações bióticas, eventos de perturbância e processos ecológicos podem não ter sido devidamente tratados pelos actuais métodos.

Outra variável que complica ainda mais esta questão é o factor tempo, já que na quantificação da biodiversidade este ponto é importantíssimo. Rousseau & Van Hecke (1999) destacam que a riqueza de espécies, uniformidade, ou *evenness*, e heterogeneidade estão fortemente dependentes do lugar e da época, em termos temporais. Por seu lado, Adler *et al.* (2005) referem a questão da relação espécies-tempo-área, em que o número de espécies é uma função da área e do prazo da amostragem (variável tempo), bem como a sua interacção. Barthlott *et al.* (2005) destacam esta mesma dificuldade de modelar alguns factores, caso da competição e processos históricos.

Gaston (1998) destaca, neste último contexto, a inexistência de um atlas da biodiversidade, o qual represente a forma como as diferentes dimensões e componentes da biodiversidade mudam em termos temporais e espaciais.

Possíveis correlações entre diversidade/heterogeneidade dos habitats e diversidade de espécies são, segundo Tews *et al.* (2004), muito provavelmente instáveis, já que estas são válidas apenas para um curto período temporal, no qual foram estudadas.

No entanto, num ponto há consenso entre os ecólogos, o de que a noção de biodiversidade consiste em duas componentes, a riqueza de espécies e a uniformidade, ou *evenness* (Rousseau & Van Hecke, 1999). Relativamente à primeira componente, esta representa meramente o número de espécies. No que concerne à segunda, mais complexa, esta é definida por Rousseau & Van Hecke (1999) como a divisão proporcional relativa de abundância entre espécies.

Pormenor a destacar, no que concerne aos estudos acerca da quantificação da biodiversidade, tem a ver com o facto da maioria destes se centrar apenas em áreas prioritárias de conservação (Gotelli & Colwell, 2001), estando estes restringidos de alguma forma no espaço e no tempo. Olson & Dinerstein (2002), que centram o seu estudo a nível de ecorregiões em termos de conservação, referem que uma estratégia global para conservar a biodiversidade, deve ter como objectivo a protecção de exemplares representativos de todos os ecossistemas.

Acerca da questão dos custos, aspecto a ter em conta neste tipo de estudos, Ewers (2005) refere que uma análise SIG, além de poder caracterizar com sucesso áreas de elevada biodiversidade local em ambientes dissimilares, os SIG são também uma ferramenta barata e efectiva para avaliar a biodiversidade. Barthlott *et al.* (2007) destacam neste contexto, que muito do progresso relativo à documentação e compreensão dos padrões de diversidade de plantas a grande escala, deve-se á disponibilidade de informação, novas ferramentas estatísticas, entre outros.

4.3. Métodos de quantificação da biodiversidade

Embora o âmbito deste trabalho não seja o de discutir, em profundidade, os métodos de quantificação da biodiversidade, importa, contudo, destacar alguns destes métodos de modo a ter um conhecimento base que permita, de alguma forma, extrapolar esta temática para a questão da quantificação da geodiversidade.

Antes mesmo de referenciar alguns dos autores que se dedicaram à quantificação da biodiversidade, importa reter um facto pertinente, referenciado por Gontier (2006), o de que a qualidade da informação é mais importante do que o modelo escolhido. Este autor menciona que a escolha do modelo irá depender do âmbito e do objectivo do estudo, bem como do contexto no qual os resultados irão ser utilizados.

Um dos métodos largamente utilizado para a quantificação da biodiversidade é a simples contagem de espécies (Kim & Schwobbermeyer, 1999), método igualmente utilizado nas diferentes abordagens de mapeamento (Barthlott *et al.*, 2005; Hamilton, 2005). Zadac (2008) menciona, como exemplo neste ponto, que os estudos sobre diversidade em águas profundas e águas neríticas têm focado largamente os níveis de diversidade de espécies.

Atualmente, há uma urgência crescente entre os biólogos conservacionistas em quantificar as exigências ambientais de espécies particulares a escalas espaciais mais finas, com vista a uma melhor priorização dos esforços de conservação (Saatchi *et al.*, 2008). Os níveis de escala tradicionalmente mais reconhecidos pelos ecólogos, são, segundo Dinerstein *et al.* (2000):

- Global;
- Continental;
- Regional (epsilon);
- Paisagem (Gama);
- Ao longo de um gradiente (Beta);
- Dentro de uma comunidade (Alfa).

Hamilton (2005) menciona que, genericamente, tem havido duas abordagens à diversidade de espécies, ambas incorporando o número de espécies (riqueza de espécies) e a abundância relativa de indivíduos dentro de cada espécie (abundância de espécies). A primeira abordagem, segundo o mesmo autor, foi a de elaborar índices matemáticos, conhecidos como índices de diversidade. Relativamente à segunda abordagem, esta envolve a comparação de padrões de abundância de espécies aos modelos teóricos de abundância de espécies.

Boa parte dos índices de diversidade utilizados derivam da teoria da informação, acrescenta Hamilton (2005), mencionando vários autores (Margalef, 1958; Shannon, 1948; Shannon & Weaver, 1949). Segundo Araújo (1998) os índices mais comuns são o índice de informação Shannon & Weaver (1962) e o índice de diversidade de Simpson (1949), índices estes que se generalizaram a partir da década de 60.

Apresentam-se as respectivas fórmulas de cálculo:

- Índice de Shannon (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Onde:

S = número total de espécies

P_i = abundância relativa da espécie i

- Índice de Simpson (D)

$$D = \sum_{e=1}^S \left(\frac{n_e(n_e - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

Onde:

n = número total de organismos de uma espécie específica

N = número total de organismos de todas as espécies

O valor D varia entre 0 e 1, sendo que 1 representa diversidade infinita e 0 diversidade alguma.

Estes índices são considerados como aplicáveis por Hamilton (2005), caso se considere a biodiversidade como sinónimo de diversidade de espécies. A escolha dos diferentes índices de diversidade varia consoante o peso que se pretende conferir a espécies raras ou comuns (Araújo, 1998).

Gotelli & Coldwell (2001) condenam o abuso de índices de diversidade de espécies, os quais combinam riqueza com abundância relativa. A riqueza e a abundância/uniformidade, representam dois extremos do mesmo conceito, dando a primeira medida mais peso relativo às espécies raras e, a segunda, maior ponderação às espécies comuns (Araújo, 1998).

Barthlott *et al.* (2005; 2007), por seu lado, referem que há duas abordagens no que concerne à produção de mapas de riqueza de espécies:

- Abordagens taxonómicas sobre a recolha de informação, sobre a distribuição de espécies únicas ou *taxons* de ordem elevada. Esta informação pode derivar de mapas em grelha, elaborados com base em informação local ou mesmo de colecções de museus de história natural, ou então de mapas poligonais, elaborados por especialistas.

- Abordagens baseadas em inventários, os quais utilizam a informação sobre diversidade, na maior parte dos casos o número de espécies e endemismos de uma região que está documentada na bibliografia (flora local e regional), caso de países, parques nacionais, regiões biogeográficas ou áreas montanhosas.

Acerca da primeira abordagem, Barthlott *et al.* (2007) salientam que as estimativas feitas com base em informação extrapolada substituem o número de espécies. Já sobre a segunda abordagem, os mesmos autores expõem que este método é, actualmente, a única forma possível de documentar e analisar a diversidade de plantas à escala global. Ambas as abordagens têm vantagens e desvantagens na sua aplicabilidade e na forma em que estas reduzem a informação. Na abordagem *taxon*, esta requer grandes quantidades de informação acerca da distribuição para o taxa analisado. Nesta, a forma mais simples de gerar mapas de riqueza de espécies, será utilizar mapas de escala pré-processados do *taxon* analisado, sendo que a informação de distribuição é geralmente projectada através de um sistema em grelha, onde as ocorrências são contadas, resultando num mapa de densidade de espécies por célula da grelha (Barthlott *et al.*, 2005). A distribuição geográfica potencial de espécies foi estimada por estes autores, através de algoritmos e informação abiótica (clima; geologia; topografia), que poderá representar as necessidades físicas das espécies.

Comparativamente à abordagem de inventário, esta primeira terá, segundo Barthlott *et al.* (2005), o problema de exigir muito trabalho de gabinete e de em certas regiões não existir informação ao nível do *taxon*. Como virtude, é apresentada a vantagem de representar elevada repetibilidade do método, boa compatibilidade com os *standarts* de mapeamento geográfico e o conjunto vasto de aplicações para futura análise na investigação e conservação.

Relativamente à abordagem de inventário, os autores salientam que esta retira vantagem da extensa informação, compilada em milhares de floras, listagens locais, entre outros.

Em termos de investigação, Oldeland *et al.* (2010) destacam o facto de nas últimas décadas terem sido desenvolvidas abordagens diferenciadas para a avaliação da biodiversidade através da detecção remota, nas quais o índice de vegetação (NDVI) é o parâmetro mais utilizado na análise da abundância de espécies através de detecção remota. O estudo apresentado por estes autores tinha como objectivo analisar a relação das medidas de diversidade baseadas na riqueza e abundância, com a variabilidade espectral, comparando os resultados a duas escalas (50x20m; 10x10m). Representando uma nova abordagem, baseada na hipótese de variação espectral, os

autores propuseram que a heterogeneidade de uma imagem de detecção remota poderia estar correlacionada com a estrutura e complexidade da paisagem, a qual também reflectiria a heterogeneidade do habitat, que por si só é conhecido por realçar a diversidade de espécies (Oldeland *et al.*, 2010). Foi utilizado o índice de Shannon na respectiva análise.

No final, Oldeland *et al.* (2010) destacam que a hipótese de variação espectral pode tornar-se um elemento chave na monitorização de iniciativas de biodiversidade global, as quais requeiram produtos de detecção remota relativos à biodiversidade.

Ainda no domínio da detecção remota, aplicada à análise da biodiversidade, Dogan & Dogan (2006), utilizaram um SIG e ferramentas de detecção remota na investigação das possibilidades de modelagem e mapeamento dos índices de Shannon-Wiener, Simpson e número de espécies. Os autores investigaram as relações entre os índices e um número de variáveis independentes, caso da topografia, geologia, solo, clima, index de vegetação (NDVI) e cobertura do solo, utilizando quadriculas 30x30m. Para isso utilizaram a análise de componentes principais e regressão múltipla, de modo a reduzir a informação em análise e desenvolver o modelo, respectivamente.

Os autores consideraram os índices Shannon-Wiener e número de espécies adequados para coberturas esparsas, enquanto que o índice de Simpson foi considerado apropriado para coberturas dominantes na área de estudo.

Considerando fundamentalmente áreas onde o conhecimento da biodiversidade é fraco, Muller *et al.* (2003) testaram métodos de mapeamento da biodiversidade já existentes, debaixo de condições complexas, em áreas de elevada biodiversidade. A metodologia de mapeamento apresentada pelos autores teve como base o *taxon*, levando em conta factores abióticos (humidade relativa e temperatura) e factores históricos, ou seja informação dos locais onde houve historicamente amostragens, factores que determinam os “territórios das espécies” (Muller *et al.*, 2003). Os autores compararam os seus dados com a informação resultante de uma abordagem baseada no inventário, destacando que as características da diversidade e endemismos baseados no *taxon* mostram forte correlação com a distribuição das localidades amostradas, possivelmente devido a uma multitude de eventos de fragmentação e isolamento no Pleistocénico.

Centrado sobre a gestão florestal sustentável, Salas-González *et al.* (2002) testam alguns índices de biodiversidade que podem ser quantificados facilmente com os dados usualmente colhidos nos inventários florestais. Os autores calcularam diferentes índices de diversidade, alfa e beta, calculados para os estratos herbáceo, arbustivo e arbóreo, de modo a avaliar e comparar a estrutura vertical e horizontal dos povoamentos. Com base nos índices básicos (Alfa e Beta), nos

quais foi observada uma maior biodiversidade nos estratos arbóreo e herbáceo, e com a informação habitualmente colhida no inventário florestal, foram calculados índices de biodiversidade compostos. Desta forma, determinaram um índice de biodiversidade composto, apropriado à particularidade do estudo (Salas-González *et al.*, 2002), se bem que adaptado no índice desenvolvido por Meersschaut e Vandekerkhove (1998). Estes consideram quatro aspectos principais de um ecossistema florestal, (1) a estrutura, (2) a composição arbórea e arbustiva, (3) composição do estrato herbáceo e (4) árvores mortas no povoamento.

O método utilizado passou pela foto interpretação (1: 2000), classificação do uso do solo, polígonos de áreas florestais com características comuns, reconhecimento de linhas de água, estradas, entre outros. Para a análise, os autores utilizaram uma grelha 60x110m.

Numa primeira fase, os autores utilizaram técnicas de apoio à decisão multi-critério, de modo a ordenar e comparar a biodiversidade dos 22 povoamentos florestais, com base na matriz de avaliação modificada, proposta por Meersschaut e Vandekerkhove (1998). Os autores começaram por atribuir pesos aos diferentes indicadores de biodiversidade, considerados importantes, através de um método de avaliação directo, em que o decisor não interfere, o método de Diakoulaki (1992). Método este baseado nos pressupostos de correlação entre duas amostras e na variação dos dados das amostras, medida através do desvio padrão. Ali o valor da biodiversidade de um povoamento é encontrado através da soma dos indicadores, ponderada pelos respectivos pesos.

Outros autores, caso de Moser *et al.* (2002), propõem explorar a relação entre a riqueza de espécie de plantas e a complexidade da forma de paisagem em áreas rurais, baseando-se em fotografia aérea. Esta relação foi explorada tendo como base um processo de inventariação, em três fases, entre 1998 e 1999, utilizando um sistema em grelha.

Por seu lado, Gimona *et al.* (2009) investigam até que extensão podem os índices estruturais de paisagem, utilizados na Base de Dados da Corine Land Cover, prever a riqueza de espécies num transecto de 2000 km², no norte da Escócia. O autor destaca que os índices relacionados com a forma do relevo, mostram correlação com a riqueza de espécies, concluindo que a composição da paisagem é um dos factores mais importantes na explicação da diversidade regional de espécies, em várias regiões.

A heterogeneidade da paisagem foi, para Ewers (2005), uma ferramenta prática para a avaliação do valor da biodiversidade local, através da detecção remota, numa paisagem predominantemente agrícola em Canterbury, Nova Zelândia.

Ewers (2005), outro autor que relaciona a questão da biodiversidade com a da paisagem, centrou o seu método, utilizando o índice de Shannon, sobre o estabelecimento de eventuais correlações entre a estrutura de paisagem, diversidade de plantas e de animais, com o intuito de utilizar uma amostragem métrica de paisagem amostrada facilmente, enquanto forma de prever a biodiversidade de uma forma global. Esta estratégia, segundo o mesmo, é a ideal para minimizar os custos de identificação de regiões com elevada riqueza de espécies.

Já a um outro nível, o das ecorregiões, Dinerstein *et al.* (2000) introduzem uma nova ferramenta, o Global 200, que providencia meios valiosos para a identificação de ecorregiões terrestres, marinhas e de água doce, que, tendencialmente merecerão maior ênfase devido ao seu elevadíssimo valor biológico. Segundo os autores, uma ecorregião terrestre é caracterizada por um tipo de vegetação dominante, a qual está distribuída genericamente de forma dispersa por uma região, dando-lhe um carácter unificador.

A análise do Global 200 identifica as características biológicas mais proeminentes de cada ecorregião prioritária, colocando o fundamento para análise a escalas mais finas para conservar estas características (Dinerstein *et al.*, 2000). A avaliação do Global 200 tem em conta 5 grupos taxonómicos, (1) plantas, (2) invertebrados, (3) herpetofauna, (4) aves e (5) mamíferos.

Esta nota sobre as ecorregiões justifica-se tendo em conta vários pontos referidos por Dinerstein *et al.* (2000):

- Correspondem aos principais guias dos processos ecológicos e evolutivos que criam e mantêm a biodiversidade;
- Possibilitam a manutenção das populações de espécies que necessitam de grandes áreas, um elemento da biodiversidade que não pode ser acomodado à escala do local;
- Abrangem um conjunto lógico de comunidades relacionadas biogeograficamente para a análise representativa;
- Possibilitam a determinação dos melhores locais para centrar os esforços de conservação e a compreensão do papel que os projectos específicos podem e devem ter na conservação da biodiversidade no longo termo.

Uma abordagem diferenciada é mencionada por Araújo (1998) que destaca a perspectiva de Vane-Wright *et al.* (1991). O princípio base referido é o de que a utilização da hierarquia da classificação taxonómica (cladogramas) permite estimar graus de diferenciação entre organismos, dando, neste

contexto, uma aproximação da diversidade genética entre *taxa* (e.g. espécies, géneros, famílias, etc.). O sistema “root-weight” baseia-se na quantificação dos nós do cladograma até ao nível de espécies, sendo dada maior ponderação à espécie mais isolada do ponto de vista taxonómico, ou seja, aquela que tiver menor número de nós (Araújo, 1998).

Importa, por fim, fazer uma rápida referência a dois autores que têm perspectivas mais diferenciadas dos até agora destacados, bem como outros dois que utilizam algoritmos na avaliação da biodiversidade, algo a reter igualmente.

You *et al.* (2009) propõem expressar a diversidade de espécies das comunidades como a sua posição num volume tridimensional ao longo de eixos de riqueza, abundância e uniformidade. Os autores acreditam que expressar a diversidade de espécies, ou biodiversidade, enquanto volume é biologicamente intuitivo, fácil de interpretar numérica e ecologicamente, e muito útil na avaliação e gestão da biodiversidade ao nível de espécies. Referem, no entanto, que é igualmente possível representar atributos enquanto índice.

Campos & Isaza (2009) introduzem um novo índice para a medição da diversidade biológica, que é sensível ao número de diferentes espécies e à abundância relativa delas. Neste caso particular, o estudo foi aplicado a 82 espécies de escaravelhos.

Além dos índices, modela-se a distribuição de espécies com a ajuda de outras ferramentas para a análise quantitativa da biodiversidade. Centrando o seu estudo sobre um *hotspot* de biodiversidade, Costa *et al.* (2010) avaliaram a capacidade de dois dos algoritmos mais populares, GARP e Maxent, preverem as distribuições quando a amostragem é geograficamente influenciada. Por seu lado, Saatchi *et al.* (2008) utilizaram o algoritmo Maxent, utilizado para modelar a distribuição de espécies. Segundo o autor, este algoritmo possibilita previsões ou inferências a partir de um conjunto de dados incompleto, sendo baseado numa base probabilística e utilizando um sistema de grelha.

4.4. Análise de conjunto dos métodos

Da análise aos vários métodos de quantificação da biodiversidade, fica bem marcada a influência da teoria da informação, da qual surgiram vários dos índices de diversidade utilizados, entre outros, pelos autores referenciados. De realçar a crescente integração destes índices nas várias metodologias alicerçadas nos sistemas de informação geográfica (SIG), o que permite, numa mesma metodologia, a integração de um maior número de índices de diversidade, sejam eles de

riqueza, abundância ou heterogeneidade. Esta integração tem sido possível devido a um grande desenvolvimento das várias ferramentas SIG, ocorrido nas últimas duas décadas.

A evolução dos SIG's facilitou igualmente a utilização de outros instrumentos de análise quantitativa da diversidade, baseados em algoritmos (You *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2010). Outros métodos, referenciadas por Araújo (1998), poderão ser alvo de maior desenvolvimento nos próximos anos, como é o caso daqueles baseados em cladogramas (Vane-Wright *et al.*, 1991). Este desenvolvimento deverá passar também por um incremento das metodologias não baseadas apenas na análise num sistema de grelha, mas sim, entre outros, em análises com base em centróides.

Apesar de existirem várias medidas de biodiversidade (Tabela 4.1.), parece-nos evidente que estas ainda se concentram em redor dos indicadores de biodiversidade Alfa e Beta, ou seja, entre o número de espécies (riqueza) e a proporção destas num determinado território. A este facto não será alheia a priorização dos esforços de conservação, centrados em áreas protegidas, levando assim a uma análise mais fina.

Tabela 4.1. – As principais medidas de biodiversidade, segundo Gray (2004).

α -diversity	Species numbers in each habitat
β -diversity	Proportion of habitats in which a given species is present
γ -diversity	Total number of species in a region
Habitat diversity	Number of habitats in an area
Age diversity	Frequency distribution of ages of a species in an area or habitat
Genetic diversity	A measure of clonal variation in a species

A priorização atrás referida acaba também por direccionar meios humanos e financeiros para as áreas protegidas, ou a proteger, dada a sua importância em termos de biodiversidade, o que terá inevitavelmente reflexos nas metodologias aplicadas. Note-se que os recursos disponibilizados, no domínio da quantificação da biodiversidade, podem diferir grandemente não só entre áreas protegidas, mas igualmente às várias escalas tradicionalmente reconhecidas pelos ecólogos, desde o global (ex: ecorregiões) até à comunidade (Alfa). O mesmo se pode passar face à disponibilidade e qualidade da cartografia utilizada, havendo discrepâncias que, por vezes, só são ultrapassadas através da previsão da distribuição de espécies, com a utilização de algoritmos.

Parte significativa dos métodos utilizados pelos autores dedicados a esta temática, utilizam índices de heterogeneidade, já que estes, além de mais simples, demoram menos tempo a aplicar, ao contrário dos índices de riqueza ou de abundância (Martins & Santos, 1999).

No entanto, e tal como todos os métodos, cada qual terá vantagens e desvantagens, cabendo a cada investigador decidir o método conforme os objectivos preconizados, tal como destacado por Martins & Santos (1999) e por Gontièr (2006). Martins & Santos (1999) referem, para o caso da biodiversidade, não existir ainda uma metodologia que expresse a biodiversidade de uma comunidade como um todo. Criar um único método, que consiga abarcar a biodiversidade num único índice numérico, será porventura um objectivo inatingível, dada a complexidade associada ao conceito de biodiversidade.

Extrapolando esta temática para a análise quantitativa da geodiversidade, parece-nos que os ensinamentos prestados por várias décadas de análise quantitativa da biodiversidade se podem revelar fundamentais para a geodiversidade, sabendo, no entanto que, não se deverá enveredar por uma lógica “seguidista” mas sim de alguma proximidade. A análise quantitativa da geodiversidade está apenas no seu início, daí ser pertinente uma aprendizagem faseada e baseada inicialmente em índices mais simples, de modo a que a base conceptual possa crescer de forma sustentada.

4.5. Relações entre a biodiversidade e a geodiversidade

A relação entre a geodiversidade e biodiversidade é complexa, estando-lhe subjacente uma série de factores, componentes e escalas espaciais e temporais. Enquanto que a biodiversidade é estudada através da identificação e contagem de um grupo indicador, caso das plantas (Musila *et al.*, 2005), a geodiversidade é investigada através da análise dos componentes que definem a geodiversidade de uma região (Carcavilla *et al.*, 2007), ou seja, centrada sobre a heterogeneidade abiótica de um determinado território.

A soma dos dois conceitos, geodiversidade e biodiversidade, constitui a diversidade natural (Serrano & Flano, 2007).

As relações entre as componentes biótica e abiótica do mundo natural têm sido, desde há muito tempo, parte dos objectivos tradicionais da investigação científica (Jackova & Romportl, 2008; Marston, 2010), embora só nas últimas décadas as interacções entre biodiversidade e geodiversidade se tenham tornado mais reconhecidas por ecólogos e especialistas em recursos naturais (Santucci, 2005; Marston, 2010). Este atraso deve-se, segundo Reinhardt *et al.* (2010), à falta de interdisciplinaridade em termos de investigação, caso por exemplo entre ecólogos e geomorfólogos, que consideraram aquelas interacções como unidireccionais por demasiado tempo (Marston, 2010).

Apesar deste último facto, mesmo tendo em conta que são aparentes várias destas interligações entre a componente biótica e abiótica, tem sido difícil determiná-las (Cottle, 2004). A relação entre geodiversidade e biodiversidade baseia-se no facto que, em maior ou menor medida, cada uma destas condiciona o desenvolvimento e evolução da outra (Dogan & Dogan, 2006; Carcavilla *et al.*, 2007).

Em muitas áreas, existe uma probabilidade de haver algum tipo de relação directa entre a geodiversidade e a biodiversidade, podendo esta ser óbvia e facilmente demonstrável em alguns locais e, menos evidente noutros (Scott *et al.*, 2007). O estudo desta relação é, portanto, muito complexo.

Reinhardt *et al.* (2010) demonstram isso mesmo quando destacam a problemática da escala temporal, a qual impossibilita muitas vezes a medição de factores bióticos e abióticos, impossibilitando desta forma a compreensão das interações entre estes mesmos factores.

Cottle (2004) destaca uma curiosidade pertinente no âmbito destas relações, quando alude ao facto de, na época Victoriana, o mapa geológico ser, para muitos naturalistas, o principal instrumento utilizado na determinação das áreas mais propícias a conter plantas raras. O mesmo autor menciona ainda que certas associações entre tipos de rocha e flora foram muito provavelmente observadas e consideradas desde que os primeiros naturalistas começaram a documentar e a descrever a biodiversidade em áreas específicas.

Foi apenas entre o final do século XIX e início do século XX que os avanços nos estudos de história natural, bem como o desenvolvimento da ecologia enquanto ciência, levaram à descrição de interligações mais explícitas entre a geologia e vida selvagem, precisamente devido ao trabalho dos naturalistas Victorianos e Eduardianos (Cottle, 2004).

Uma premissa básica do conceito de geodiversidade reconhece que existe uma relação intrínseca entre a diversidade biológica e a diversidade geológica, sendo que o substrato geológico é visto como a fundação do ecossistema (Santucci, 2005; Larwood *et al.*, 2013). É ainda salientado que os processos e recursos geológicos têm uma interligação com os recursos bióticos e biosistemas muito maior do que aquela que usualmente é reconhecida, estando estas relações integradas aos níveis de ecossistemas, comunidade, espécies, organismo, celular e genético (Tabela 4.2.).

Normalmente, os exemplos de como a geodiversidade influencia a biodiversidade, centram-se nas componentes clima, solos, hidrologia, habitat e distribuição biogeográfica, entre outros (Santucci, 2005; Dogan & Dogan, 2006).

Tabela 4.2. – Analogia entre biodiversidade e geodiversidade (Sai & Marafa, 2009).

Category		Biodiversity	Geodiversity
Hierarchical diversity		Gene Species Habitat Biosphere	Mineral Rock (soil) Landform Geosphere
Nature		Biotic	Abiotic
Mechanism		Biological and ecological processes	Exogenetic and endogenetic processes
Scientific theory		Evolution	Plate tectonics
Resources	Utilities	e.g., foods, pelt, etc.	e.g., metal, quarry, etc.
	Energy	e.g., bio-fuels, animal, etc.	e.g., fossil fuels, geothermal power, etc.
	Others	e.g., ivory	e.g., gems, fossil, etc.

Cottle (2004) menciona, a propósito das áreas naturais do Reino Unido, que cada área natural possui uma identidade única, que resulta da interacção da vida selvagem, formas de relevo, geologia, uso da terra e impacto antrópico. Acrescenta ainda que enquanto que o foco destas áreas tem sido nos seus habitats e nas espécies que as caracterizam, é notório que, quer pela sua extensão quer pelos nomes que lhes foram aplicados, as áreas naturais estão intimamente associadas, e são reflexo da geologia subjacente e geografia física. Aliás, Burnett *et al.* (1998) acrescentam a esta questão que a riqueza de espécies, diversidade e dominância estão associadas com a heterogeneidade espacial das propriedades abióticas.

Neste último âmbito, Gordon *et al.* (2006) referem que a biodiversidade está ligada à heterogeneidade da paisagem, facto considerado como válido, pois muitos processos ecológicos operam primariamente à escala de paisagem, refere Marston (2010), citando Dunning *et al.* (1992) e Taylor *et al.* (1993). Complementando, Musila *et al.* (2005), citando Levin (1992), destacam que a heterogeneidade espacial é fundamental para a estrutura e dinâmica dos ecossistemas.

O ambiente físico é, desta forma, crítico para a existência das espécies, não podendo este ser dispensado (Zeide, 1997). Sharples (2002) acrescenta, neste âmbito, que a degradação das formas de relevo, solos e massas de água tem impactos muito negativos nas espécies biológicas e comunidades que nelas vivem, daí a importância basilar do ambiente físico.

Em geral, a evolução geológica de um lugar, em especial dos acontecimentos mais recentes, ou os que condicionam os afloramentos e disposição de certos materiais geológicos, determinam todos os demais aspectos bióticos, não se restringindo apenas à sua própria existência, mas também à eficácia e êxito de determinados processos biológicos, tais como a reprodução de espécies e

distribuição dos habitats (Humphries & Donnelly, 2004; Carcavilla *et al.*, 2007). A este propósito, Humphries & Donnelly (2004) apresentam uma listagem de animais e plantas interligados a características geológicas, listagem presente nos Planos de Acção para a Biodiversidade (BAP), caso de vertebrados, invertebrados, plantas vasculares e fungos.

Exemplo contrário é igualmente referenciado por Carcavilla *et al.* (2007), quando menciona o facto da actividade biológica condicionar a geologia, genericamente falando, participando esta em muitos processos, tais como a aceleração ou diminuição da erosão, estabilidade de vertentes, dinâmica fluvial, entre outros. Na mesma linha, Musila *et al.* (2005) testam a hipótese da composição e dispersão de 3 espécies influenciar o padrão espacial das propriedades do solo a uma escala métrica.

Complementando, Stallins (2006) refere que, numa direcção, os processos geomórficos e formas de relevo moldam a distribuição da biota, enquanto que na direcção inversa, a biota modifica os processos e formas de relevo.

Sobre esta última questão, Reinhardt *et al.* (2010) aludem ao facto de que parece não haver um eixo único de causalidade entre a vida e a sua paisagem, mas sim exercendo cada um destes uma influência simultânea sobre o outro, através de uma vasta gama de escalas temporais e espaciais. É igualmente salientado que essas mesmas influências ocorrem através de *feedbacks* de forças e importâncias diferenciadas, com a co-evolução representando a ligação mais próxima entre os sistemas litológicos e geomorfológicos.

Jiménez *et al.*, (2003) mencionam que a evolução dos seres vivos, que resultou na biodiversidade actual, esteve sempre condicionada em grande medida por acontecimentos geológicos e por outros fenómenos naturais. Destacam ainda a geodiversidade, especialmente litológica e tectónica, enquanto condicionadora da biodiversidade actual.

No entanto, Reinhardt *et al.*, (2010) relatam que, nas últimas décadas, os investigadores começaram a mostrar em detalhe como os organismos não só respondem ao seu ambiente físico, bem como modificam e controlam directamente o seu ambiente físico de forma a prolongar a sua existência. Acrescenta ainda que campos de investigação, como a biogeomorfologia ou ecidrologia, têm revelado numerosas formas em que plantas e animais podem alterar os ecossistemas.

Do ponto de vista conservacionista, a falta de um conhecimento mais abrangente da variação especial da geodiversidade, bem como da sua relação com a biodiversidade, impede a protecção e gestão de regiões valiosas em termos ecológicos e geomorfológicos (Burnett *et al.*, 1998; Hjort &

Luoto, 2010). A este propósito, Jiménez *et al.*, (2003) e Larwood *et al.*, (2013) salientam que as estratégias de conservação da biodiversidade devem contemplar a geodiversidade, facto já reforçado por Sharples (2002) e por Jackova & Romportl (2008), que sublinham a importância da componente abiótica, enquanto suporte da biodiversidade. Jackova & Romportl (2008), mencionam a importância da integração das componentes biótica e abiótica, na temática da conservação da Natureza, algo que não tem acontecido devido à crónica incidência das medidas de índole conservacionista na biodiversidade. Sustentam ainda que, a geoconservação é uma base fundamental para a bioconservação, já que a geodiversidade possibilita a variedade de ambientes e pressões ambientais que influenciam directamente a biodiversidade.

Reinhardt *et al.*, (2010) mencionam a necessidade de criar métodos que avaliem relações complexas e multivariadas, onde as estimativas devem ser efectuadas para numerosos caminhos. Isto, afastando-se de perspectivas de modelos univariados de causalidade, que assumem apenas uma variável independente e variável dependente, tal como Marston (2010) refere no estudo da vegetação e geomorfologia de vertentes.

Ainda neste último âmbito, Stallins (2006) refere que a interacção entre componentes geomórficas e ecológicas da paisagem tem sido largamente conceptualizada como independente, facto que tem tido reflexos negativos em termos de compreensão da interligação entre componentes abiótica e biótica. Afinal, a maior parte dos estudos, nesta temática muito abrangente, demonstrou uma correlação entre a heterogeneidade/diversidade de habitats e diversidade de espécie de animais (Tews *et al.*, 2004).

Barthlott *et al.* (2005) destacam, neste contexto, que, onde existem elevados níveis de geodiversidade, estão criadas as condições para uma diversidade elevada de espécies, referindo-se neste caso particular aos centros globais de plantas vasculares, situados nas regiões montanhosas, circunscritas à zona intertropical húmida.

Muitas das métricas, pertencentes ao repertório *standard* das pesquisas em biodiversidade (e.g. Alfa; Beta; entre outras), podem ser aplicadas na análise da geodiversidade (Barthlott *et al.*, 2007). Acrescentam ainda, mencionando Barthlott *et al.* (1999), que podem ser utilizadas para providenciar uma estrutura conceptual, de forma a que se consiga compreender as relações entre geodiversidade e biodiversidade. No entanto, ao contrário da avaliação da biodiversidade, os métodos uniformizados para a avaliação da geodiversidade ainda não foram devidamente estabelecidos (Jackova & Romportl, 2008). Reinhardt *et al.* (2010) referem na questão dos modelos numéricos, que a escolha das escalas mais apropriadas é muitas vezes problemática,

nas quais as escalas fundamentais para os modelos numéricos deverão ser, quando assim é possível, as escalas temporais e espaciais dominantes, em que a ecologia influencia a geomorfologia. Associado ainda a esta questão e articulando em termos genéricos, o último autor menciona ainda a detecção remota, enquanto o melhor exemplo de ferramenta pouco explorada quer por ecólogos, quer por geomorfólogos.

Carcavilla *et al.* (2007) mencionam, no âmbito do estudo da relação entre a geodiversidade e a biodiversidade, que este deverá basear-se em três ideias fundamentais:

1. As escalas espaço-temporais dos processos bióticos e abióticos são geralmente diferenciadas;
2. Os aspectos biológicos relacionam-se entre si e evoluem simultaneamente, facto que ocorre com os aspectos abióticos, embora em menor medida;
3. Os aspectos abióticos estão unidos por uma linha cronoestratigráfica e abarcam desde episódios instantâneos até processos que se prolongam durante milhões de anos, facto que não acontecerá na biodiversidade.

De modo a compreender melhor os tipos de relação entre a geodiversidade e a biodiversidade, interessa diferenciar os dois tipos genéricos de relação entre estas duas componentes base do geossistema. Importa salientar, no entanto, que a relação pode ser avaliada em ambientes actuais ou em paleoambientes (Santucci, 2005), privilegiando-se aqui os ambientes actuais.

Cottle (2004) refere acerca desta questão, que em vários estudos em ecologia, concluiu-se que as influências da geologia na flora e na fauna podem ser separadas em duas partes básicas, (1) a influência directa do tipo de rocha por si mesmo e (2) o papel indirecto que o tipo de rocha tem na formação do solo e desenvolvimento de estruturas que influenciam a distribuição de plantas e animais a escalas muito diversificadas.

Por seu lado, Scott *et al.* (2007) complementam e acrescentam novos dados. Além de diferenciarem igualmente as influências directas e indirectas, referem, sobre a relação directa, que esta pode ser de dois tipos:

1. Um ou mais elementos da flora ou fauna, desenvolvidos no local têm relação directa com a composição química ou estrutura física do afloramento rochoso;

2. O afloramento rochoso, ou a geomorfologia local, possibilitam que a ecologia dos habitats, desenvolvidos na paisagem local, seja percebida.

Estes autores destacam ainda que em muitas situações, a relação directa pode ser menos óbvia ou não pode ser claramente demonstrada. Descrevem que tal relação pode ser exibida pela ecologia do local, que pode mostrar uma flora ou fauna diferenciadas, relativamente à sua envolvente, ou nichos ecológicos que se desenvolvem em estratos adjacentes de litologias diferenciadas.

Já sobre a relação indirecta, os autores referem que esta é resultado da situação actual, a qual possibilita um ambiente químico ou físico favorável ao desenvolvimento de habitats específicos, mas não na rocha em si. Sobre esta última relação, é dado o exemplo de pedreiras abandonadas, onde surgiram alguns abrigos rochosos.

Em ambas as relações, directas e indirectas, Scott *et al.* (2007) dão exemplos, caso de (1) plantas associadas, de forma distinta, a lapiás, (2) líquenes distintos que se desenvolvem em rochas ultramáficas e (3) vegetação específica de áreas dunares.

Partindo agora de alguns exemplos mais concretos, dados por vários autores, faz-se a referência a casos de estudo, através dos quais se poderá ter uma percepção global de tais relações, embora obviamente limitada, tendo em conta a multiplicidade de relações entre geodiversidade e biodiversidade.

Relativamente às relações indirectas, Culver & Pipan (2010), circunscrevendo-se à componente subterrânea da geodiversidade, as grutas, destaca a importância de se considerar o ambiente físico enquanto agente selectivo, o qual molda a morfologia, fisiologia, comportamento e história da vida dos organismos subterrâneos. O factor clima e mais geralmente as condições físicas das grutas e/ou algares, bem como de outros habitats subterrâneos, têm uma profunda influência na biota, acrescentam.

Um exemplo desta relação foi demonstrado pela bioespeleóloga Sofia Reboleira, em 2011, quando descobriu e descreveu (Reboleira, 2011) um novo *taxa*, a *Domene lusitanica*, uma nova espécie de escaravelho estafilínido, encontrado nas grutas de Sicó. Esta espécie exhibe troglóbiomorfismo, uma adaptação à vida subterrânea.

Já a escalas mais pequenas, mas ainda no âmbito subterrâneo Culver & Pipan (2010), tal como Moldovan *et al.* (2007) referem que, a escalas mais pequenas, diferenças ambientais tais como a diferenciação química da água do epicarso, pode ser importante na medida em que possibilita a

coexistência de várias espécies. Os elevados níveis de biodiversidade encontrados nos habitats subterrâneos podem ser explicados através da elevada diversidade de micro-habitats das camadas não saturadas (Moldovan *et al.*, 2007).

Ainda no domínio do carso, mas já relativamente ao exocarso, geoformas como as marmitas de gigante, apresentam-se como um interessante caso de relação indirecta entre geodiversidade e biodiversidade, ao permitirem, por um lado, a existência sazonal de vegetação com um ciclo de vida adaptado à existência de água, também sazonal, num canhão fluviocársico e, por outro lado, a concentração de espécies animais em torno destes pontos de água em alguns meses de estiagem da ribeira das Barrocas, no concelho de Alvaiázere.

Importa ainda salientar a influência do relevo nas escalas geográficas e rotas de migração de espécies, podendo o relevo representar corredores ou barreiras para as migrações. A uma escala global, Santucci (2005) e Jiménez *et al.* (2003) destacam a influência da tectónica de placas e episódios de vulcanismo no Jurássico e Cenozóico, na distribuição de espécies, nomeadamente alguns endemismos, caso ocorrido por exemplo na região de Múrcia, Espanha.

Centrando agora nas relações directas, Cottle (2004) refere que a forma como a rocha é meteorizada, e age enquanto material constituinte do solo, é, talvez, o mecanismo mais óbvio e directo em termos de influência das espécies de plantas e o seu crescimento. Acrescenta ainda que os parâmetros mais relevantes que o tipo de rocha influencia são a química dos solos, textura, dimensão do grão e, conseqüentemente, porosidade, sendo estes os aspectos fundamentais na determinação das condições base em termos de limite, para o crescimento das plantas.

Os solos fazem a ligação entre os mundos biótico e abiótico, sendo que a composição e química dos solos estão directamente relacionados com o substrato subjacente, conseqüentemente, a distribuição de muitos dos *taxa* das plantas estão dependentes da composição mineral e química do solo (Santucci, 2005; Humphries & Donnelly, 2004). Sobre a distribuição dos *taxa*, Musila *et al.* (2005) dão o exemplo de como as interacções entre factores bióticos e abióticos são críticos no que concerne à determinação das dinâmicas das populações e manutenção de elevada diversidade nas florestas tropicais.

As associações específicas entre plantas e tipos de rocha ocorrem, embora restringidas a tipos particulares de rocha, com uma química muito específica, caso por exemplo de dolomias e gabros, onde a presença ou ausência de certos elementos e componentes efectivamente confina os parâmetros químicos a um horizonte superficial relativamente estreito, no qual, através dos milénios, as plantas se adaptaram e especializaram (Cottle, 2004). Os líquenes, enquanto grupo,

mostram ser controlados mais pelo tipo de rocha, componente química das mesmas (como o pH), do que qualquer outro tipo de organismos, refere Cottle (2004).

A adaptação genética, especialização e outros mecanismos evolutivos das plantas são destacados por Mota *et al.* (2008), quando estes se referem a um catálogo de 144 espécies da “flora dolomítica” da cordilheira bética, em Espanha. Esta flora peculiar e, segundo os autores, pouco estudada é limitada por níveis altos de metais pesados, em particular níquel e a baixa proporção de cálcio e magnésio. As proporções de Ca/Mg catalogadas para os diferentes tipos de solos foram um elemento chave na explicação das restrições que as dolomias impõem às plantas.

Caso extremo de especialização é o referido por Santucci (2005), quando destaca o caso de estudo que são as cianobactérias das fontes hidrotermais de Yellowstone, tal como Cordes *et al.* (2009), que referem os ambientes de águas profundas e os conjuntos de comunidades microbianas e espécies heterotróficas associadas. Ou então, no caso português as fontes hidrotermais situadas ao largo dos Açores.

Um bom exemplo, resumido, das relações directas pode ser percepcionado através da análise dos habitats da Rede Natura 2000, nomeadamente no carso português. Dão-se alguns exemplos de habitats, com algumas componentes da caracterização associada mais pertinentes:

- 6110 – Prados rupículas calcários ou basófilos da *Alysso-Sedion albi*: desenvolvem-se em substratos rochosos calcários carsificados, que não lapíás;
- 6210 – Prados secos semi-naturais e facies arbustivas em substrato calcário (Festuco-Brometalia) (importantes habitats de orquídeas): prosperam em solos neutro-basófilos, meso-eutróficos, profundos e frescos, derivados de substratos calcários, margosos ou dolomíticos;
- 8130 – Depósitos mediterrâneos ocidentais termófilos: a instabilidade do substrato, a frequente ausência de solo à superfície e as enormes variações sazonais e diurnas de temperatura, fazem das cascalheiras habitats muito desfavoráveis e selectivos para a vida vegetal;
- 8210 – Vertentes rochosas calcárias com vegetação casmofítica: estas comunidades colonizam fissuras verticais e horizontais, estreitas, de rochas carbonatadas (calcários puros, dolomíticos e margosos).

Outros autores dão exemplos desta intrínseca ligação directa, descrita mais em pormenor através dos habitats da Rede Natura 2000. São os casos de Menghi *et al.*, (1989), que salientam a variação da vegetação em áreas com sedimentos terciários, de Balkwill *et al.* (2011), que destacam uma nova espécie de *Sartidia*, associada a solos ultramáficos, ou de Mahaney *et al.* (2007), referem que um estudo qualitativo dos tipos funcionais de plantas, através da sequência de um terraço, mostrou que as superfícies mais antigas suportam uma maior diversidade de plantas.

Perspectiva interessante é a destacada por Bernard & Chitwood (1990) e Marston (2010), os quais destacam a complexa ecologia das zonas ripícolas, derivada da extrema variação geológica, climática, relevo, hidrológica e, mesmo perturbações antrópicas. O primeiro autor dedica-se à determinação do potencial da vegetação ripícola, através de uma classificação geomórfica/florística, onde considera que a geomorfologia é especialmente útil nas áreas ripícolas, onde a composição da vegetação natural, solos e/ou regimes de água foram alterados por algum tipo de perturbação natural ou antrópica passada. A sua classificação baseia-se então quer na componente abiótica, quer na componente biótica, de forma a perceber a evolução da vegetação.

Marston (2010), por seu lado, destaca o papel da vegetação na produção de sedimentos em bacias hidrográficas de pequena dimensão, demonstrando assim que a vegetação e as formas de relevo evoluem conjuntamente (Tabela 4.3.), facto último igualmente referido por Marston (2010). Reinhardt *et al.* (2010) menciona neste âmbito o *Outdoor StreamLab* (<http://safl.umn.edu/facilities/osl.html>).

Já numa bacia hidrográfica de grande dimensão, no Brasil, Silva (2012) conjuga um índice de geodiversidade com um índice de biodiversidade (Fig. 4.2.), exercício a que poucos investigadores se têm dedicado. A mesma autora considera o seu estudo como um primeiro passo para o desenvolvimento de metodologias que visem a avaliação da relação entre geodiversidade e biodiversidade.

Centrados sobre as relações entre vegetação e geomorfologia, Meilleur *et al.* (1994), estudaram comunidades florestais no Quebec, Canadá, tendo classificado estas comunidades florestais, utilizando uma abordagem hierárquica com 3 níveis: a geomorfologia, pedologia e vegetação. Utilizando a BDA – *binary discriminant analysis*, método utilizado para comparar uma lista de espécies para a presença/ausência relativamente a um parâmetro ambiental, chegaram à conclusão que os parâmetros abióticos condicionam aquelas comunidades florestais. Os mesmos

autores referem, no entanto, um caso muito particular, em que alguns tipos de floresta (Beech-Hemlock) colonizaram depósitos glaciares, independentemente da altitude a que se situam e do tipo de substrato, mostrando desta forma a intrínseca ligação entre componentes biótica e abiótica.

Ainda neste âmbito, Pereira (2007) indica a clara ligação, no caso português, entre as áreas protegidas e os aspectos geomorfológicos. Ou seja, a geomorfologia acaba por ter um papel primordial, embora não intencional, na demarcação das áreas protegidas (Pereira, 2007).

Tabela 4.3. – Funções geomórficas chave criadas pela vegetação existente em vertentes (Marston, 2010).

Process	Selected examples
Modify soil moisture, through interception loss and transpiration, controlling mass movement	(Haneberg, 1991; Harden, 2006)
Leaves and litter intercept raindrops, dissipating erosive energy	(Walsh and Voiht, 1977; Parsons <i>et al.</i> , 1996; Marston and Dolan, 1999; Keim and Skaugset, 2003)
Organic matter in the soil increases water storage, infiltration and percolation thereby promoting vegetation growth and inhibiting erosion	Bryan (2000)
Roots bind soil against piping, land surface erosion, and shallow mass movement	(Greenway, 1987; Wu <i>et al.</i> , 1988; Riestenberg, 1994; Schmidt <i>et al.</i> , 2001; Roering <i>et al.</i> , 2003)
Aboveground biomass creates microtopography on land surface that affects overland flow; Roughness in the profile direction (upslope-downslope) slows overland flow; Roughness along the contour concentrates sheetflow into rillflow, rills into gullies	(Parsons <i>et al.</i> , 1992; Abrahams <i>et al.</i> , 1995; Wainwright <i>et al.</i> , 2000; Stavi <i>et al.</i> , 2009)
Aboveground biomass creates hydraulic roughness against overland flow	Abrahams <i>et al.</i> (1994, 1995)
Treefall exposes soil for erosion	Gabet <i>et al.</i> (2003)

A nível de paisagem, Burnet *et al.* (1998) e Jackova & Romportl (2008) procederam também a análises semelhantes. Jackova & Romportl (2008), através da determinação estatística das características abióticas mais significativas, chegaram à conclusão de que o seu método explicou mais de 40% da variabilidade da riqueza do habitat, a nível de paisagem. Isto, mostrando

igualmente que, de facto, a heterogeneidade das condições abióticas influencia significativamente a variabilidade da riqueza do habitat, nomeadamente a altitude, a riqueza das formas de relevo, a riqueza geológica, entre outros.

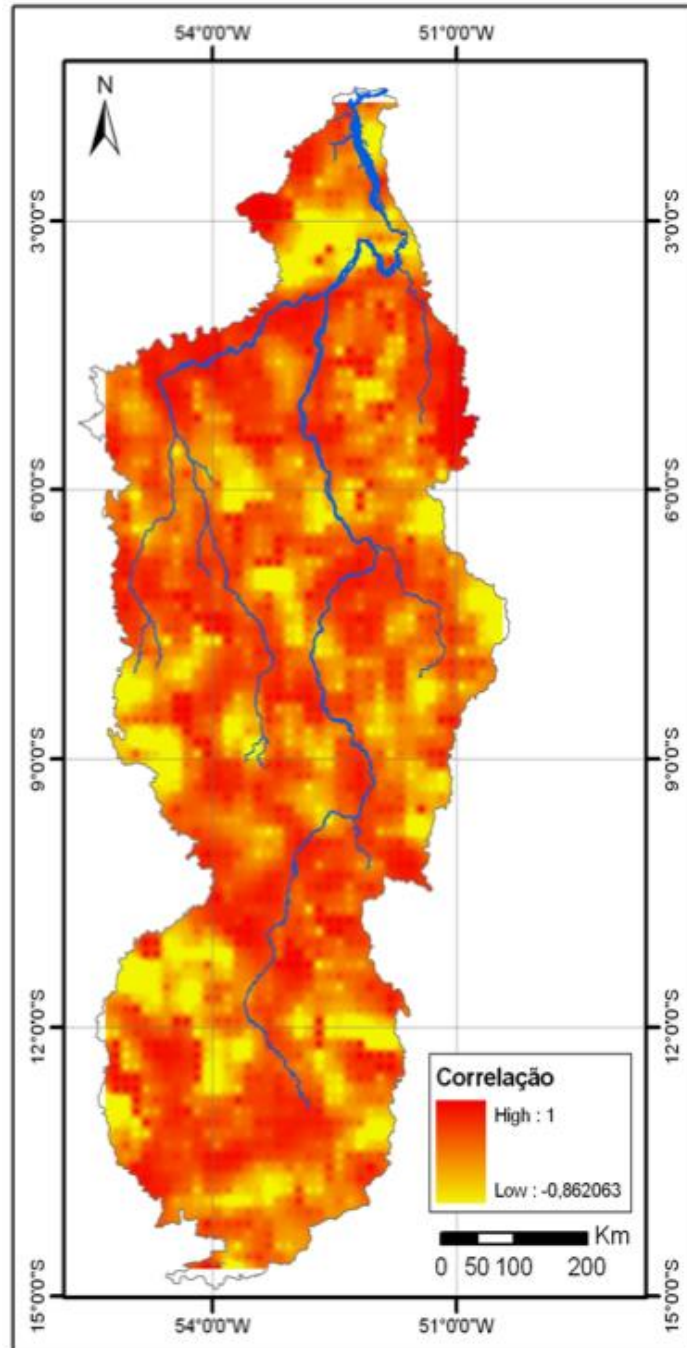


Figura 4.2. – Mapa representativo da correlação entre um índice de geodiversidade e um índice de biodiversidade (Silva, 2012).

Burnet *et al.* (1998), por seu lado, testaram a hipótese das paisagens compostas por condições abióticas espacialmente heterogêneas poderem possibilitar uma maior diversidade de potenciais nichos ecológicos para plantas e animais, mais do que paisagens homogêneas. Comparando lotes com elevada heterogeneidade geomorfológica e lotes com reduzida heterogeneidade geomorfológica, chegaram à conclusão que os primeiros tinham efectivamente maior riqueza e diversidade do estrato arbóreo e arbustivo, bem como do facto das variações no aspecto e drenagem do solo terem sido predictores especialmente importantes da diversidade biótica.

Particularmente interessante, é o estudo de Parks & Mulligan (2010), na medida em que estes autores apresentam os resultados de um estudo preliminar (Fig. 4.3.), onde fica evidenciada a ligação entre geodiversidade e biodiversidade, provando assim, segundo os mesmos, que a geodiversidade incorpora muitas das características e processos ambientais considerados chave para a componente biótica da Natureza. Este é um dos raros estudos conhecidos onde é apresentado um índice de geodiversidade, conjugado com um índice de biodiversidade. O objectivo base de Parks & Mulligan (2010), foi o de criar um índice útil para a modelação a grandes escalas, a qual, através da criação de um índice de geodiversidade, pudesse, ao mesmo tempo, modelar as características geográficas da biodiversidade, já que, segundo os mesmos, a modelação da biodiversidade faz-se na maior parte dos casos em escalas de grande pormenor, e não de pequeno pormenor.

Relativamente às regiões costeiras, onde igualmente há relações entre as componentes biótica e abiótica, Hayden *et al.* (1995) referem que a composição das espécies, estrutura da comunidade e biodiversidade nas ilhas barreira de Virgínia, EUA, são controladas por processos físicos hidrogeomorfológicos que dão origem às formas de relevo mantendo a sua forma. Entre estes processos, referem inundações de água salgada, variações na salinidade da água subterrânea e mudanças nos níveis freáticos. Pequenas variações podem inclusive, segundo os mesmos autores, resultar em mudanças no ecossistema e nível de paisagem, equivalentes a transições de bioma continental.

Ainda no domínio costeiro, Andréfouet & Guzman (2004) tentam relacionar a diversidade bântica com a diversidade geomorfológica e sugerem que a heterogeneidade do habitat dentro de áreas geomorfológicas explica melhor os padrões da diversidade dos corais. Isto, mesmo apesar de, por si só, a diversidade geomorfológica não ser um bom indicador da biodiversidade do habitat.

Finalizando esta questão dos tipos de relação entre geodiversidade e biodiversidade, sobressai um facto muito importante, referido por Marston (2010), quando menciona que, genericamente, um

dos grandes desafios para a compreensão destas componentes, é a escala espacial. Dá o exemplo dos padrões de vegetação em áreas diminutas que podem ser afectados por processos geomórficos a escalas significativas, processos tais como tectónica, vulcanismo ou glaciações.

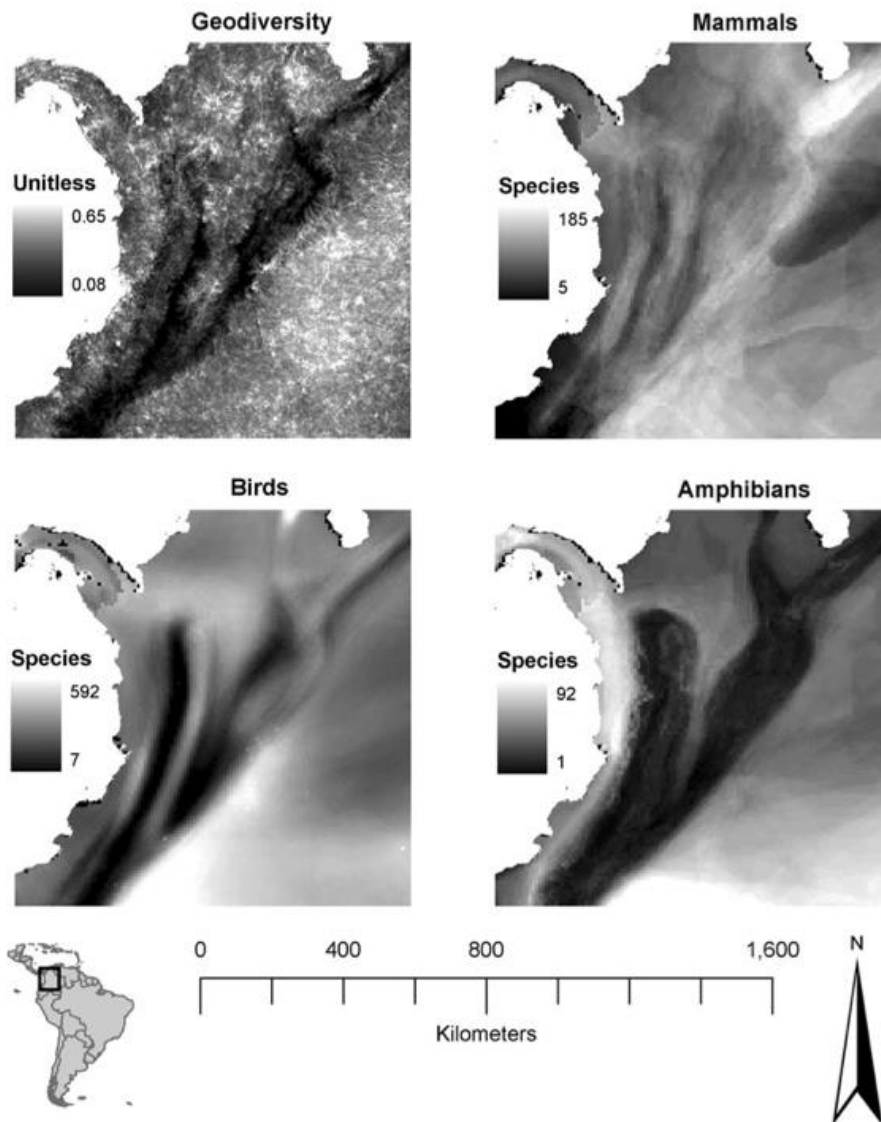


Figura 4.3. – Resultados preliminares do cálculo da geodiversidade na Colômbia, conjuntamente com a riqueza de espécies, mamíferos, aves e anfíbios (Parks & Mulligan, 2010).

No entanto, Marston (2010) alerta para o facto de, talvez, não existir uma escala única para a compreensão das interligações entre as componentes biótica e abiótica, devido ao inerente “emparelhamento” dos processos físicos e biológicos.

Sobre este último ponto, julgamos que qualquer estudo sobre as componentes biótica e/ou abiótica, deve assumir à partida que, de facto, não existe uma escala única para a compreensão destas interligações. Seria redutor referir que um número único consegue captar/expressar tais

interligações sem algum tipo de perda de informação, a qual é diferenciada conforme a escala de análise.

Capítulo 5

GEODIVERSIDADE: AVALIAÇÃO

5.1. O âmbito da avaliação da geodiversidade

Comparativamente à biodiversidade, a avaliação da geodiversidade está apenas no seu início (Xuelei *et al.*, 2003; Gray, 2004), subsistindo ainda uma grande desproporção entre os estudos sobre biodiversidade e os estudos sobre geodiversidade (Kozłowski, 2004). São ainda escassos os estudos metodológicos relacionados com a geodiversidade (Serrano & Flaño, 2007; Ondicol, 2012), sendo que apenas na última década estes começaram a surgir com alguma regularidade, concretamente a partir do ano de 2007. Isto mesmo que esta mesma avaliação seja considerada como essencial para o estudo e interpretação da história geológica da Terra (Xuelei *et al.*, 2003).

A noção de diversidade aplicada à componente abiótica, teve ainda pouco impacto na comunidade científica (Ibáñez *et al.*, 1998). Este facto poderá estar relacionado, entre outros, com a dúvida sobre a melhor forma de avaliar todos os elementos da geodiversidade (Gray, 2004). A dificuldade em reconhecer e determinar algumas das relações e interacções entre os elementos da geodiversidade e processos associados, bem como as mesmas interacções entre subsistemas próximos e sistemas, revela-se, segundo Kozłowski (2004), também como uma contrariedade. Segundo Rojas (2005), o grau de diversidade de um determinado território depende dos processos ocorridos, da natureza e complexidade dos objectos e relações existentes, e da escala adoptada na análise.

Em termos de avanços no domínio da avaliação de componentes da geodiversidade, Hjort & Luoto (2010) destacam, mencionando Ibáñez *et al.* (1995, 1998, 2005), o exemplo da pedologia enquanto ciência mais evoluída neste âmbito, tal como constatado no ponto 2.1.2.

Numa óptica mais abrangente, o primeiro trabalho que versa sobre quantificação da geodiversidade terá sido o de Xavier-da-Silva *et al.* (2001), o qual desenvolve índices de geodiversidade, sugeridos como indicadores de biodiversidade. Note-se que a maioria dos trabalhos nesta temática surge apenas após 2007.

Mencionando McBratney (1992) e Ibáñez *et al.* (1995), Ibáñez *et al.* (1998) referem que a caracterização e quantificação dos vários aspectos da geodiversidade (ex. relevo, rochas, solos, entre outros) devem ser levados em conta quando se estima o valor ecológico de um território. Isto porque se referem a recursos naturais não renováveis que têm profundas repercussões qualitativas e quantitativas na arquitectura da paisagem, ecossistemas e biocenoses (Ibáñez *et al.*, 1998).

Como justificação para a avaliação da geodiversidade, Dias *et al.* (2005) destacam a necessidade de assegurar e controlar a ocupação antrópica de determinados territórios, enquanto que Serrano

& Flaño (2007) sublinham a necessidade de incorporar os elementos abióticos nas políticas de desenvolvimento territorial e nos valores dos recursos naturais. Será pertinente referir um facto destacado por Engering & Barron (2007), quando salientam que a geodiversidade é um dos principais recursos naturais de um determinado território. Sobre este propósito, Nieto (2001) destaca que o conhecimento e avaliação da geodiversidade de um território, permite compreender, em termos de planos de ordenamento, os usos mais indicados para as actividades antrópicas já instaladas ou por instalar.

Por seu lado, Hjort & Luoto (2010) salienta a maior consciencialização sobre a necessidade de compreender os padrões de geodiversidade associados a paisagens sujeitas a um cada vez maior grau de transformação, facto que naturalmente acaba por potenciar o interesse pela avaliação da geodiversidade. Mas não só, pois, e ao contrário do que acontece com a biodiversidade, quando se destroem alguns elementos da geodiversidade, estes não são passíveis de serem recuperados de alguma forma (Gray, 2008), o que confere uma maior importância à avaliação da geodiversidade.

Não sendo o intuito de descrever em pormenor a componente qualitativa da avaliação da geodiversidade, que extravasa o âmbito deste trabalho, importa, contudo, salientar certos aspectos considerados pertinentes. Refira-se que a componente qualitativa da geodiversidade já foi abordada no 2º capítulo, concretamente no ponto 2.2., relativo aos valores da geodiversidade.

Importante de referenciar é o facto destacado por Serrano & Flaño (2007), quando este indica a elevada concentração de estudos sobre geodiversidade, expressamente na componente qualitativa. Neste âmbito estão fundamentalmente os estudos sobre Locais de Interesse Geológico (LIG) e Locais de Interesse Geomorfológico (LIGeom), casos de Pereira (2006), Silva (2007), Bruschi (2007), Forte (2008), Rocha (2008), Torres (2008), Moreira (2009), entre outros. Destacam-se igualmente duas metodologias de avaliação qualitativa da geodiversidade, casos de Scott *et al.* (2007) e Ruban (2009).

Ou seja, são ainda muito poucos os estudos que versam sobre a componente quantitativa da geodiversidade, facto que reforça a urgente necessidade de colmatar esta lacuna.

5.2. Avaliação quantitativa da geodiversidade

Actualmente, não existe ainda um método uniformizado para a avaliação da geodiversidade.

A necessidade de quantificar a variação da geodiversidade num determinado território baseia-se num pressuposto fundamental, o de que as várias actividades relacionadas com a gestão do

território exigem uma expressão numérica da geodiversidade (Ruban, 2009). Complementando esta última questão, Hjort & Luoto (2010) destacam que, do ponto de vista da conservação, a falta de conhecimento sobre a variação espacial da geodiversidade, bem como a sua relação com a biodiversidade, dificulta a protecção e a gestão de territórios valiosos do ponto de vista ecológico e geomorfológico.

Este último facto revela-se de grande importância, pois a qualidade dos planos de ordenamento do território será directamente proporcional à qualidade da informação disponibilizada sobre as mais variadas formas, nomeadamente sobre a forma de um mapa de geodiversidade, onde seja possível discernir sobre a variação da geodiversidade local, regional, nacional ou supra-nacional. Como Nieto (2001) refere, a geodiversidade de uma região é específica e característica desta, o que, segundo este, deveria condicionar o desenho e aplicação dos planos de ordenamento. Contudo apenas ocasionalmente isto acontece, dada a falta de directrizes próprias, tais como serve de exemplo a Estratégia Andaluza para a geodiversidade.

Carcavilla *et al.* (2007) sustentam que o estudo da geodiversidade se deverá basear na metodologia para analisar a diversidade de qualquer variável física. Os elementos da geodiversidade, ou objectos geográficos, são entidades materiais dotadas de atributos descritivos e espaciais (Rojas, 2005), o que possibilita a sua descrição, quantificação e a sua comparação.

Hjort & Luoto (2010) sustentam que, para a medição da variabilidade dos elementos abióticos, ou elementos da geodiversidade, várias unidades espaciais podem ser utilizadas, a nível do relevo, unidades geomorfológicas, geologia ou a nível das bacias de drenagem. De acordo com as metodologias de quantificação, a referir no ponto 5.3., fica evidenciado que se podem considerar várias unidades espaciais na quantificação da geodiversidade, dependendo dos objectivos finais de cada um dos trabalhos de investigação. Ou seja, a escolha das variáveis está relacionada em primeiro lugar, com o âmbito da investigação respectiva, seja ela mais restritiva ou mais abrangente.

Dando como exemplo ilustrativo Parks & Mulligan (2010), estes autores consideram na sua análise a topografia, a hidrologia, a geologia e o clima.

Benito-Calvo *et al.* (2009) referem, sobre a utilização de índices de diversidade espacial, que estes podem ser muito úteis na avaliação da geodiversidade, desde que aplicados numa análise comparativa e utilizando os mesmos critérios e resolução espacial. Neste âmbito, Barthlott *et al.* (2010) salientam que muitas das métricas utilizadas na análise quantitativa da biodiversidade (e.g.

Alfa, Beta), algumas das quais enunciadas no capítulo 4, podem ser aplicadas à análise quantitativa da geodiversidade.

Embora concordando com os factos atrás enunciados por Benito-Calvo *et al.* (2009), importa salientar que os índices de diversidade podem ser igualmente úteis na avaliação da geodiversidade de territórios sem que, contudo, se tenha um intuito comparativo. Ou seja, a simples expressão numérica da geodiversidade de um território é também relevante, não significando isso que esta tenha de estar associada a um outro território, embora, naturalmente, seja desejável. Sobre este propósito, Nieto (2004) refere que é importante conhecer a geodiversidade de uma região específica, de forma a desenvolver planos de ordenamento do território, sem que, contudo, se tenha um propósito comparativo.

A análise SIG, através das emergentes ferramentas de análise espacial, surgidas nos últimos anos, tem possibilitado um enorme leque de alternativas para a análise quantitativa da geodiversidade, tal como relatado por Zbigniew (2009).

Em termos concretos, e segundo Carcavilla *et al.* (2008), o estudo da geodiversidade consiste em analisar os componentes que definem a geodiversidade de uma região, possibilitando assim o estabelecimento de índices e indicadores. Estes últimos, permitem a comparação de áreas diferenciadas. Prosser (2002) destaca a necessidade de medir a geodiversidade, medição esta baseada num índice assente num sistema de grelha, sendo desta forma possível responder à questão de qual é a área mais geodiversa.

O sistema de grelha, comum a várias metodologias, leva-nos à questão da escala, a qual, a par com a classificação dos elementos da geodiversidade a avaliar, representam possivelmente os maiores desafios no que concerne à avaliação da geodiversidade, já que não é possível avaliar todos os elementos da geodiversidade a uma mesma escala. Gray (2004) e Hjort & Luoto (2010) também referem a escala como uma questão central na quantificação da geodiversidade.

Há que referir que um qualquer índice de geodiversidade estará sempre dependente da escala de análise. Ou seja, numa área rica em termos de elementos da geodiversidade, esta mesma riqueza pode eventualmente não ser captada na análise, caso a escala de trabalho não seja a mais adequada. Este é um facto a ter em conta na questão da avaliação quantitativa da geodiversidade.

Segundo Serrano & Flaño (2007), a geodiversidade pode ser avaliada em 4 escalas: (1) a nível das partículas (e.g. átomos, moléculas e processos de energia); (2) a nível dos elementos (e.g. geomorfológicos, geológicos e solos); (3) local (e.g. geótopos e geosistemas); e (4) a nível de paisagem, sendo que apenas o segundo e terceiro nível terem importância prática.

As metodologias a referir no próximo ponto, mostram que, até agora, a maior parte destas se centrou a nível dos elementos, embora de forma muito diferenciada entre si. Tendo em conta o âmbito deste trabalho, justifica-se um breve resumo sobre as metodologias de quantificação da geodiversidade até agora propostas pelos vários autores. A análise das mesmas possibilita uma melhor compreensão sobre as várias possibilidades de quantificação dos elementos da geodiversidade e respectiva aplicação em diferentes escalas territoriais.

5.3. Métodos quantitativos para a avaliação da geodiversidade

Dos trabalhos conhecidos que versam sobre a quantificação da geodiversidade, apenas dois (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001; Dias *et al.*, 2005) são anteriores a 2007, o que evidencia o incipiente investimento neste domínio da investigação.

À excepção de Carcavilla *et al.* (2007), que apresentam uma metodologia eminentemente teórica, todas as outras metodologias apresentadas se referem à aplicação prática de formas diferenciadas de quantificação de elementos da geodiversidade, seja de uma forma algo restrita ou mais abrangente. Isto em territórios muito diferenciados.

A análise destas metodologias revela-se fundamental para uma melhor e mais fundamentada compreensão de uma temática que, embora recente, afigura-se como essencial a vários níveis, nomeadamente a nível do ordenamento do território, objectivo principal assumido pelo autor.

Deste modo, importa referenciar e descrever, de forma resumida, os métodos de quantificação da geodiversidade já apresentados pelos vários autores.

5.3.1. Método de Xavier-da-Silva *et al.* (2001)

Desenvolvidos por Xavier-da-Silva *et al.* (2001) enquanto indicadores de biodiversidade geral, os índices de geodiversidade propostos por estes autores (Tabela 5.1.), surgiram devido à dificuldade de avaliação das espécies nos países tropicais, à escala de paisagem. Este trabalho visou contribuir para o acesso a metodologias que permitissem a avaliação da distribuição da diversidade ambiental, num determinado território. Neste método, é considerado que a variabilidade ambiental deve ser analisada tendo por base um parâmetro ambiental estruturante, a partir do qual se poderá partir para a análise de outros parâmetros ambientais. A geomorfologia foi aqui considerada como o parâmetro base de análise.

Tabela 5.1. – Indicadores de Geodiversidade (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001).

categorias do mapa geomorfológico	geodiversidade específica					geodiv. múltipl m (m*)	geodiv. múltipla ponderada p (p*)
	veget	solos	geol	alinh geol	alinh geomorf		
	e (e*)	e (e*)	e (e*)	e (e*)	e (e*)		
inselberg isolado (Ei5)	5 (11)	5 (4)	2 (3)	1 (4)	0 (4)	13 (10)	559,134 (2)
inselberg grupamento (Egi5)	6 (10)	3 (6)	1 (4)	2 (3)	0 (4)	12 (11)	707,965 (1)
superfície pediplanada (Ep3)	23 (5)	9 (1)	4 (1)	5 (1)	0 (4)	41 (4)	4,201 (11)
terraço fluvial (Etf1)	6 (10)	3 (6)	2 (3)	0 (5)	2 (2)	13 (10)	15,142 (8)
terraço fluvial elevado (Etf2)	14 (6)	5 (4)	2 (3)	0 (5)	2 (2)	23 (7)	17,065 (7)
colinas c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção ≤ 250m (c11)	5 (11)	4 (5)	2 (3)	0 (5)	0 (4)	11 (11)	12,816 (9)
colinas c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 250 ≤ 750m (c21)	13 (7)	5 (4)	1 (4)	3 (2)	1 (3)	23 (7)	34,987 (4)
cristas c/ aprofund. da drenagem fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 250 ≤ 750m (k22)	2 (12)	2 (7)	1 (4)	2 (3)	0 (4)	7 (12)	77,008 (3)
interflúvios tabulares c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 250m ≤ 750m (t21)	12 (8)	4 (5)	2 (3)	0 (5)	0 (4)	18 (8)	25,313 (5)
interflúvios tabulares c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 750 ≤ 1.750m (t31)	27 (3)	8 (2)	3 (2)	3 (2)	2 (2)	43 (2)	2,030 (13)
interflúvios tabulares c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 1.750 ≤ 3.750m (t41)	26 (4)	6 (3)	3 (2)	1 (4)	1 (3)	37 (5)	1,625 (14)
interflúvios tabulares c/ aprofund. da dren. muito fraco e ordem de grandeza das formas de dissecção > 3.750m ≤ 12.750m (t51)	28 (2)	8 (2)	3 (2)	2 (3)	1 (3)	42 (3)	0,858 (15)
áreas de acumulação inundáveis (Aal)	14 (6)	8 (2)	2 (3)	2 (3)	1 (3)	27 (6)	5,329 (10)
planície fluvial (Aplf)	38 (1)	8 (2)	3 (2)	3 (2)	3 (1)	55 (1)	2,156 (12)
planície fluviolacustre (Aplfl)	10 (9)	5 (4)	2 (3)	0 (5)	0 (4)	17 (9)	21,548 (6)

e: Geodiversidade Específica; e*: Geodiversidade Específica Posicional; m: Geodiversidade Múltipla; m*: Geodiversidade Múltipla Posicional; p: Geodiversidade Múltipla Ponderada; p*: Geodiversidade Múltipla Ponderada Posicional

Partindo de uma base de dados geocodificada (1 pixel = 1 hectare), que englobou em termos territoriais um sector da região de Manaus (escala 1:000 000), e utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) desenvolvido para o efeito (SAGA/UFRJ), produziram-se 6 mapas, denominados por planos de informação:

- Mapa fitoecológico;
- Mapa exploratório de solos;
- Mapa geomorfológico;
- Mapa geológico;
- Alinhamentos do mapa geomorfológico;
- Alinhamentos do mapa geológico.

Estes planos de informação tiveram como base vários mapas temáticos, disponibilizados pelo projecto RADAMBRASIL.

Após análise em ambiente SIG (SAGA/UFRJ), foram gerados dois mapas adicionais:

- Mapa de síntese, contendo os indicadores de geodiversidade múltipla;
- Mapa de síntese, contendo os indicadores de geodiversidade múltipla ponderada.

A propósito dos indicadores de geodiversidade, referidos nos mapas adicionais, Xavier-da-Silva *et al.* (2001) referem que o conceito de geodiversidade representa a variabilidade de características ambientais de determinada área geográfica, variabilidade esta analisada pelos seguintes índices de geodiversidade:

1. Índice de Geodiversidade Específica (e) e de Geodiversidade Específica Posicional (e*):

- O Índice de Geodiversidade Específica (e) é obtido através do número de classes de cada parâmetro (e.g. classes de vegetação) associado a cada uma das categorias do mapa geomorfológico (e.g. *inselberg* isolado).
- O Índice de Geodiversidade Específica Posicional (e*) é obtido através da posição relativa, de cada uma das classes geomorfológicas, as quais foram utilizadas no cálculo dos coeficientes de *Spearman* (Tabela 5.2.).

2. Índice de Geodiversidade Múltipla Simples (m) e de Geodiversidade Múltipla Simples Posicional (m*):

- O Índice de Geodiversidade Múltipla Simples (m) é obtido através da soma das classes de cada um dos mapas, para cada classe geomorfológica (e.g. *inselberg* isolado - $m = 5+5+2+1=13$).
- O Índice de Geodiversidade Múltipla Simples Posicional (m*) representa a posição relativa de cada classe geomorfológica, face às outras classes geomorfológicas.

3. Índice de Geodiversidade Múltipla Ponderada (p) e de Geodiversidade Múltipla Ponderada Posicional (p*):

- O Índice de Geodiversidade Múltipla Ponderada (p) relaciona a Geodiversidade Múltipla com a extensão territorial (km²) de cada uma das classes geomorfológicas.
- O Índice de Geodiversidade Múltipla Ponderada Posicional (p*) é obtido através do posicionamento relativo de cada um dos valores da Geodiversidade Múltipla Ponderada (p).

Como complemento da análise possibilitada pelos indicadores de geodiversidade, Xavier-da-Silva *et al.* (2001) apresentam também uma matriz de correlações (Tabela 5.2.), a qual permite analisar de forma mais sucinta a relação dos vários parâmetros ambientais, face ao parâmetro base, a geomorfologia.

Segundo os autores, os resultados correspondentes a todas as variáveis de ocorrência, permitem confirmar a escolha da geomorfologia como parâmetro base para a análise.

No nosso entender, este método revela-se pouco intuitivo, nomeadamente no que concerne à compreensão de correlações que à partida seriam elevadas, caso dos alinhamentos geologia e alinhamentos geomorfologia (Tabela 5.2.).

Contudo, importa destacar que este terá sido um dos primeiros métodos de quantificação da geodiversidade, o que naturalmente condiciona uma análise já por si complexa.

Tabela 5.2. – Matriz de correlações não paramétricas (Coeficiente de *Spearman*) (Xavier-da-Silva *et al.*, 2001).

	vegetação	solos	geologia	alinhamentos geologia	alinhamentos geomorfologia
vegetação	1	-	-	-	-
solos	0,84	1	-	-	-
geologia	0,76	0,80	1	-	-
alinhamentos geologia	0,49	0,57	0,28	1	-
alinhamentos geomorfologia	0,64	0,37	0,34	0,18	1

Importa, por fim, referir que o método criado por Xavier-da-Silva *et al.* (2001) foi utilizado mais tarde, à escala municipal, por Dias *et al.* (2005), utilizando parâmetros diferenciados. Para isso acrescentou aos parâmetros geomorfologia e geologia, os parâmetros:

- Cobertura vegetal/uso do solo;
- Altitude/hipsometria;
- Declive.

Dias *et al.* (2005) confirmam que a extensão da área geográfica é um elemento fundamental para a análise da geodiversidade, facto já referenciado por Xavier-da-Silva *et al.* (2001). É igualmente reconhecida a importância da geomorfologia enquanto elemento base para a análise da geodiversidade.

5.3.2. Método de Carcavilla *et al.* (2007)

Baseando-se genericamente na análise da diversidade, na frequência e na distribuição de um conjunto de entidades geológicas, Carcavilla *et al.* (2007) apresentam uma metodologia de avaliação da geodiversidade eminentemente teórica, pretendendo com a mesma sustentar os aspectos pelos quais se deverá basear a análise da geodiversidade. Esta metodologia pretende, segundo os mesmos, apresentar-se como uma base metodológica original para o estudo da geodiversidade, a qual permitirá a extrapolação e comparação de territórios diferenciados, isto de acordo com um método único. Este método tem subjacente a definição de parâmetros estandardizados, facto considerado de primordial importância para os autores, que destacam a

estreita relação que a geodiversidade mantém com o património geológico e as implicações que tem em termos de ordenamento e gestão do território.

Esta metodologia consiste basicamente na análise dos componentes que definem a diversidade geológica de uma região, análise que possibilita o cálculo de índices e indicadores que vão permitir fazer comparações. Justificando que o estudo da geodiversidade se deve basear em metodologias utilizadas na análise de variáveis físicas, Carcavilla *et al.* (2007) citam Roszenweing (1995), que sustenta que a diversidade, enquanto conceito geral, é analisada tendo em conta duas propriedades estatísticas fundamentais:

1. Número de diferentes tipos de objectos (denominados classes) que ocorrem num determinado território;
2. Número ou abundância relativa de cada uma destas classes.

Além destas duas propriedades estatísticas, os autores acrescentam outra que consideram essencial na avaliação da geodiversidade, a distribuição espacial dos objectos geológicos que condiciona a relação e significado de cada uma das classes de geodiversidade com as demais e com o contexto geral.

Para a prossecução do estudo da geodiversidade, Carcavilla *et al.* (2007) mencionam que há uma série de aspectos fundamentais que têm de ser definidos previamente, a amostra a avaliar e quais os elementos a considerar, incluindo nestes o seu número e variabilidade. São estes últimos que irão definir as classes existentes na área de estudo.

Para a definição da amostra, os autores relatam que previamente tem de ser delimitada uma área de estudo, bem como a escala de trabalho. No que se refere à área de estudo, os autores sustentam que esta pode ser definida em função de vários parâmetros, caso de limites administrativos, geológicos, biogeográficos, entre outros. No entanto salientam que o parâmetro “geologia” deverá ser o parâmetro base. Já quanto à escala, é destacada a sua importância, pois os elementos e parâmetros geológicos que irão ser agrupados por classes, estão sempre dependentes da escala de trabalho escolhida. Esta define em última instância a tipologia de elementos a considerar.

Relativamente às classes passíveis de incluir a amostra, Carcavilla *et al.* (2007) citam Durán *et al.* (1998), os quais referem que a análise da geodiversidade deverá ter em conta a variedade e qualidade litológica, o registo estratigráfico, cronoestratigráfico, mineralógico e tipos de jazigos,

diversidade e qualidade paleobiológica, a variedade geomorfológica, paisagística, estrutural e paleogeográfica. Estes factores são fundamentais para o correcto estabelecimento dos limites de cada uma das classes que definem a amostra no seu todo, facto que irá condicionar a gestão de toda esta informação a jusante. No entanto, os autores sustentam que pelo menos a litologia e o intervalo cronoestratigráfico, enquanto parâmetros base, devem ser contemplados em qualquer estudo de geodiversidade, para a definição das classes, isto juntamente com outros aspectos que se avaliem complementarmente e dependentes dos objectivos do estudo. Num estudo de geodiversidade, feito de forma a obter uma visão global da paisagem de uma região, os autores sustentam que neste caso deverá dar-se prioridade aos aspectos geomorfológicos, estruturais e litológicos, em vez de aspectos paleontológicos.

Face aos outros aspectos que se avaliem como complemento, Carcavilla *et al.* (2007) aludem a áreas específicas, nas quais a existência de processos activos constitui uma das principais características geológicas, caso das zonas litorais, vulcânicas ou áreas montanhosas, facto que justificará a inclusão destes aspectos na avaliação da geodiversidade. Obviamente que tudo isto dependerá dos objectivos do trabalho e da informação disponível para tratamento em ambiente SIG.

Restringindo-se à questão dos limites entre classes, os autores destacam que, ao contrário da biodiversidade, na geodiversidade estes limites não estão genericamente fixados, já que os critérios a considerar, a montante, não estão objectivamente definidos. Desta forma, com o intuito de mitigar este problema, Carcavilla *et al.* (2007) destacam numa primeira análise que os critérios a ter em conta terão de ter relação directa com os objectivos e a aplicação do trabalho, ou seja, dependendo do âmbito e objectivos de um trabalho nesta temática, os critérios poderão variar substancialmente.

A questão da dificuldade de encontrar critérios que permitam discernir se dois objectos são suficientemente similares de forma a que possam pertencer à mesma classe, ou então se são distintos e constituem classes diferenciadas, é aliás referida anteriormente por Gray (2004) (p. 350), que sugere, como solução, os sistemas de classificação internacionais, caso da escala cronoestratigráfica da IUGS (para as regiões sedimentares) ou a tabela de classificação de rochas vulcânicas, de Streckeisen. Carcavilla *et al.* (2007) destacam que os resultados do estudo dependem directamente dos critérios utilizados aquando da definição das classes existentes na área de estudo.

Após a escolha da amostra e das classes, Carcavilla *et al.* (2007) aludem que o estudo da geodiversidade centra-se na análise da variedade, frequência e distribuição das classes geológicas definidas, sendo o número de classes presentes o primeiro factor diferenciador da geodiversidade em duas áreas.

A variedade representa o número de classes que se pode definir num determinado território, podendo esta representar a geodiversidade “primária” desse mesmo território. Quanto maior o número de classes, maior a geodiversidade, tendo por base a análise em condições igualitárias. No entanto, a variedade não é suficiente para analisar a geodiversidade, já que, segundo os autores, no caso de duas regiões com o mesmo número de classes, a geodiversidade pode expressar-se espacialmente de forma diferenciada, daí a necessidade da análise da frequência e distribuição.

A frequência relaciona-se com o número de vezes que surge a mesma classe geológica definida anteriormente, bem como as dimensões relativas de cada ocorrência. Tendo o mesmo número de classes, dois territórios podem ter padrões de frequência diferenciados.

Quanto à distribuição, esta analisa a forma como se distribuem espacialmente as classes de geodiversidade, já que a geodiversidade também depende da distribuição das classes no espaço físico, representando isto modelos de organização espacial/padrões diferenciados.

Sintetizando agora os parâmetros prévios considerados nesta metodologia, e tendo em conta as possíveis particularidades de cada caso, os autores referem (1) a delimitação da área de estudo, a escala (2), a tipologia de elementos a inventariar (3) e a representação cartográfica (4).

Sobre o último parâmetro, os autores lembram que o estudo da geodiversidade baseia-se na análise estatística de uma série de variáveis cartografadas a uma determinada escala, por isso torna-se fundamental conhecer previamente a geologia do território em análise com recurso à cartografia geológica, complementada com outros mapas temáticos, onde a representação dos elementos cartografados é feita genericamente através de polígonos.

Concretizando agora a questão da análise da geodiversidade, Carcavilla *et al.* (2007) destacam que esta deverá analisar três aspectos fundamentais:

1. A variedade geológica de um território (geodiversidade em sentido restrito);
2. A relação entre os elementos que definem essa geodiversidade;
3. O valor dessa geodiversidade e a sua relação com o património geológico (Nieto, 2001).

Na análise dos dois primeiros aspectos, os autores definem vários parâmetros que irão permitir a quantificação, o diagnóstico e a comparação da geodiversidade. Para isso descrevem os parâmetros considerados por si mais pertinentes *à priori*:

- Abundância: geodiversidade intrínseca

Refere-se ao número de classes definidas previamente num determinado território. Como já atrás referenciado, em condições iguais em termos de critérios e escala de análise, quanto maior for o número de classes maior a geodiversidade. Caso o objectivo do trabalho seja o de obter índices que possibilitem a comparação entre áreas, como afinal esta metodologia pretende propor, então terá de se levar em conta a extensão territorial destas mesmas áreas, pois quanto maior for a extensão territorial, maior será o número de classes que estes poderão albergar, referem os autores.

Desta forma, é definido o parâmetro “geodiversidade intrínseca” (G_i), o qual corresponderá ao número de classes presentes num determinado território:

$$G_i = C/S$$

Onde:

G_i = Geodiversidade intrínseca

C = Número de classes existentes num território

S = Superfície territorial (km^2)

Apesar dos valores elevados de geodiversidade intrínseca implicarem a existência de muitas classes por unidade de superfície, os autores sublinham a necessidade de ter em conta a totalidade da área de estudo, já que segundo os mesmos, será muito frequente as classes terem uma distribuição irregular, ocorrendo por exemplo valores elevados de G_i em alguns sectores e valores baixos de G_i noutros.

Como complemento, é ainda destacado que, em muitos casos, o intervalo cronoestratigráfico considerado proporciona uma informação muito útil na análise da geodiversidade, definindo Carcavilla *et al.* (2007) o parâmetro “intervalo relativo” (Ir):

$$Ir = Ic/It$$

Onde:

Ir = Intervalo relativo

Ic = Intervalo cronoestratigráfico representado na área

It = Intervalo cronoestratigráfico geral considerado na área

No entanto, os autores alertam para o facto que quando se aplica este tipo de parâmetros cronológicos, deve-se sempre ter em conta que se trata de uma generalização. É o caso, por exemplo, de um afloramento de uma determinada unidade cronoestratigráfica, sobre o qual se deverá assumir que representa todo o intervalo cronológico da unidade em que se insere. No caso de um valor “Ir” próximo de 1, então o intervalo cronoestratigráfico representado é amplo.

- Frequência

A frequência analisa os parâmetros de distribuição da geodiversidade, referindo-se ao número de vezes que surge cada uma das classes, à superfície relativa ocupada por cada uma destas mesmas classes e ainda a outros parâmetros similares que permitam a obtenção de valores numéricos para cada classe (Carcavilla *et al.*, 2007). São definidos dois parâmetros, os quais se referem ao território no seu todo, ou então a cada uma das classes, representando isto um valor único e um valor afecto a cada uma das classes definidas, respectivamente.

Relativamente às classes, são definidos dois parâmetros:

1. Frequência de classe (Fc) – número de vezes que surge repetida cada classe, relativamente à superfície total.

$$Fc = r_c/S$$

Onde:

Fc = Frequência de classe

r_c = Número de polígonos dessa classe

S = Superfície territorial (km²)

Valores elevados de “Fc” indicam que a classe surge repartida por muitos polígonos, significando isto que valores próximos de 1 indicam uma elevada fragmentação do território.

2. Superfície relativa de cada classe (Sc) – retrata a área que ocupa a classe relativamente à superfície total, representando um valor percentual da superfície de cada classe.

$$Sc = (Sn \times 100) / S$$

Onde:

Sc = Superfície relativa de classe

S = Superfície territorial (km²)

Sn = Superfície ocupada pela classe n (km²)

Valores elevados de “Sc” mostram a maior presença de determinada classe, entre as demais, na área de estudo. O valor máximo de superfície de classe será obviamente de 100, o que significa, neste caso, que esta representará a totalidade da área de estudo.

Neste último âmbito, Carcavilla *et al.* (2007) referem-se à superfície acumulada de classes (Sa), sendo portanto um parâmetro relativo à totalidade da área de estudo, o qual apresenta a relação entre a superfície acumulada de todas classes.

- Distribuição

Relacionada com a abundância e com a frequência, a distribuição analisa como se organizam espacialmente cada uma das classes definidas previamente, sendo definido o “grau de fragmentação” (Gf), parâmetro que se refere à quantidade de polígonos presentes na área de estudo, em função da superfície total da mesma:

$$Gf = r/S$$

Onde:

Gf = Grau de fragmentação

r = Número de polígonos presentes na área de estudo

S = Superfície territorial (km²)

Um elevado grau de fragmentação significa maior heterogeneidade das classes ali existentes. Já os valores baixos de “Gf”, significam uma homogeneidade na distribuição das classes de geodiversidade existentes naquela área.

Além da abundância, frequência e distribuição, Carcavilla *et al.* (2007) mencionam um outro parâmetro a ter em conta na análise da geodiversidade, a repartição das classes relativamente à sua abundância e posicionamento no território. O facto de a geodiversidade representar uma propriedade do território, possibilita a descrição de gradientes de geodiversidade, os quais constituem uma informação muito útil para o ordenamento e gestão do território, salientam os autores.

Decorrente da questão das diferentes formas de organização da geodiversidade de um território, as quais decorrem em função dos parâmetros atrás referenciados, Carcavilla *et al.* (2007) apresentam 16 modelos teóricos de geodiversidade (Fig. 5.1.), os quais representam afinal padrões de geodiversidade diferenciados. Salientam que estes não serão os únicos padrões possíveis, mas uma amostra representativa de como são possíveis diferentes valores de abundância, frequência e distribuição, e como se relacionam entre si.

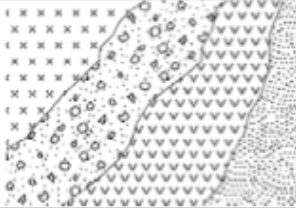

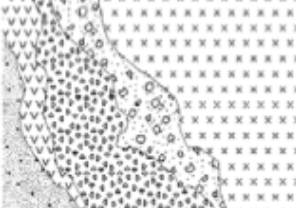





PATRÓN	ABUNDANCIA	DISTRIBUCION	FRECUENCIA		
	Geodiversidad intrínseca (G_i)	Grado de fragmentación (G_f)	Frecuencia de clase (F_c)	Superficie relativa de clase (S_c)	Curva de superficie acumulada de clases (S_a)
	Alta	Bajo	Equifrecuencial	Equifrecuencial	
	Alta	Bajo	Equifrecuencial	Inequifrecuencial	
	Alta	Bajo	Inequifrecuencial	Equifrecuencial	
	Alta	Bajo	Inequifrecuencial	Inequifrecuencial	

Figura 5.1. – Padrões teóricos de geodiversidade (Carcavilla *et al.*, 2007).

5.3.3. Método de Serrano & Flaño (2007)

Tendo por base o pressuposto que a utilização do conceito de biodiversidade, e respectivo estudo exaustivo, nas políticas públicas e na gestão do território, demonstrou a necessidade do estudo da componente abiótica para a gestão, protecção e conservação da Natureza, Serrano & Flaño (2007) desenvolveram uma metodologia própria para estimar a geodiversidade. É sublinhado pelos autores que esta metodologia deve ser utilizada em conjunto com outras avaliações, caso dos estudos sobre biodiversidade, cultura e etnografia.

Este método de avaliação quantitativa da geodiversidade, possibilitado pela criação de um índice (Tabela 5.3.), foi aplicado na região de Tiermas-Caracena, sector sul da província de Soria em Espanha.

Tabela 5.3. – Valores limite das classes de geodiversidade (Serrano & Flaño, 2007).

Geodiversidade	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Índice	<15	15-25	25-35	35-45	>45

O processo de avaliação desenvolvido por Serrano & Flaño (2007), divide-se em três fases:

1. Análise dos elementos/características abióticas: geologia, geomorfologia, hidrologia e elementos pedológicos. Inclui também a elaboração de um mapa geomorfológico detalhado.
2. Determinação de unidades geomorfológicas, as quais são a base da avaliação da geodiversidade. Estas unidades são delimitadas através do mapa geomorfológico, da modelação espacial e do trabalho de campo. Posteriormente é elaborado um inventário das principais características físicas, sendo este sintetizado através de fichas elaboradas para o efeito.
3. Avaliação de unidades: É estabelecido um índice que relaciona a variedade dos elementos físicos com a rugosidade do relevo e área das unidades geomorfológicas. É considerado que quanto maior for a quantidade de elementos, maior será a geodiversidade. O mesmo ocorre para valores altos de dissecação do relevo, sendo que um valor alto significa uma maior complexidade micro e topo-climática.

Tendo por base o descrito na última fase da metodologia, Serrano & Flaño (2007) apresentam a seguinte fórmula para a determinação de um índice de geodiversidade:

$$Gd = \frac{Eg R}{\ln S}$$

Onde:

Gd = Índice de Geodiversidade; Eg = Número dos diferentes elementos físicos das unidades (geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e pedológicas); R = Coeficiente de rugosidade da unidade; S = Área superficial da unidade (km²).

O parâmetro Eg é calculado através da contagem dos elementos físicos apresentados na tabela 5.4., construída através das fichas referidas na segunda fase do método.

Tabela 5.4. – Categorias dos elementos abióticos analisados (Serrano & Flaño, 2007).

Geologia	Litologia	Estrutura	
Geomorfologia	Morfoestruturas	Sistemas morfogenéticos	Processos
	Formas de erosão	Formas de acumulação	Micro-formas
Hidrologia	Estados da água	Elementos hidrológicos	
Solos	Ordens	Sub-ordens	

Acerca da tabela 5.4., os autores afirmam que apenas os diferentes elementos foram dispostos na mesma, não sendo aceites repetições. Da mesma forma apenas foram considerados os processos que não estão incluídos em nenhuma forma de relevo.

A topografia e as variações micro e topo-climáticas são representadas pelo coeficiente de rugosidade (R). A sua inclusão é sustentada pelo papel importante de ambos os parâmetros, na energia e fluxos de materiais ocorridos nas vertentes e, desta forma, na diversidade e distribuição das formas de relevo, solos e processos. É referido ainda que este é um parâmetro integrador, o qual é introduzido de forma a ter em conta as variações mais pequenas e as relações complexas entre os elementos e processos do sistema natural abiótico.

Relativamente ao valor de rugosidade, os autores referem que este é estabelecido a partir das vertentes dominantes em cada uma das unidades geomorfológicas, tendo sido elaborado um mapa de vertentes no qual estas são diferenciadas em cinco intervalos (< a 5º; de 6º a 15º; de 16º a 25º; de 26º a 50º; >50º), onde o coeficiente de rugosidade de cada unidade corresponde ao intervalo dominante da unidade.

Na tabela 5.5. estão representadas as 14 unidades geomorfológicas identificadas na área de trabalho, bem como a sua respectiva área (km²), o número de elementos presentes em cada uma destas unidades, o coeficiente de dureza, o índice de geodiversidade e o valor de geodiversidade associado a cada uma das unidades geomorfológicas.

Uma das particularidades que importa destacar em primeira análise é o facto de este método permitir uma comparação mais fácil, à mesma escala, entre territórios diferenciados. No caso de Xavier-da-Silva (2001), esta comparação é mais difícil, tendo de se compatibilizar o coeficiente K, no caso de necessidade de análise comparativa entre áreas diferenciadas.

No entanto, Serrano & Flaño (2007) referem a necessidade de se confirmar os resultados em áreas com maiores diferenciações internas, além de possíveis melhoramentos na metodologia.

Destacam também a necessidade de incorporação de outros elementos, caso da paleontologia e das micro-formas.

Posteriormente, Pellitero *et al.* (2010) basearam-se nesta mesma metodologia para avaliar a geodiversidade de um parque natural espanhol, tendo considerado o habitat enquanto unidade básica de integração para a quantificação da geodiversidade. Por seu lado, Pereira, E. *et al.* (2013) adaptaram o método de Serrano & Flaño (2007), aplicando-o à Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte, no Brasil.

Tabela 5.5. – Valores da geodiversidade associados às unidades geomorfológicas (Serrano & Flaño, 2007).

Unit	Number of elements	Surface (km ²)	Roughness	Geodiversity Index	Geodiversity value
Highlands	23	184	1	4.4	Muy baja
Pedro Gorge	22	12	2.5	22.1	Baja
Pozo Moreno Gorge	18	1	2.7	48.6	Muy alta
Tielmes Gorge	24	9	2.7	29.5	Media
Caracena Gorge	30	15	3.2	35.4	Alta
Madruédano Valley	8	4	2.6	15	Baja
Modamio Valley	14	3	2.5	31.8	Media
Talegonos Gorge	18	7	3	27.7	Media
Liceras-Retortillo valley	30	73	1.2	8.4	Muy baja
Manzanares pericline fold	24	11	2	20	Baja
Pedro-Noviales Valley	26	32	1.7	12.7	Muy baja
Tejera Valley	20	8	1.8	17.3	Baja
Carramonte Valley	20	5	1.5	18.6	Baja
Pela Range	24	18	3.3	27.4	Media

5.3.4. Método de Benito-Calvo *et al.* (2009)

Este método teve como objectivos fundamentais a avaliação da geodiversidade através da caracterização e classificação das suas principais propriedades físicas e a quantificação da geodiversidade, considerada por Benito-Calvo *et al.* (2009) como um parâmetro espacial que calcula o número de elementos diferenciados que constituem a paisagem.

O método proposto (Fig. 5.2.) foi aplicado na Península Ibérica e considera que os factores físicos (caso da litologia, estrutura, formas de relevo, processos e solos) constituem a base da paisagem, sendo também considerados factores chave para definir a geodiversidade (Benito-Calvo *et al.*,

2009). Os autores consideram que o mapeamento e a análise estatística espacial das unidades físicas possibilita a quantificação, descrição e comparação de paisagens diferenciadas, permitindo desta forma a existência de uma ferramenta útil e objectiva para a compreensão da singularidade e geocomplexidade da paisagem.

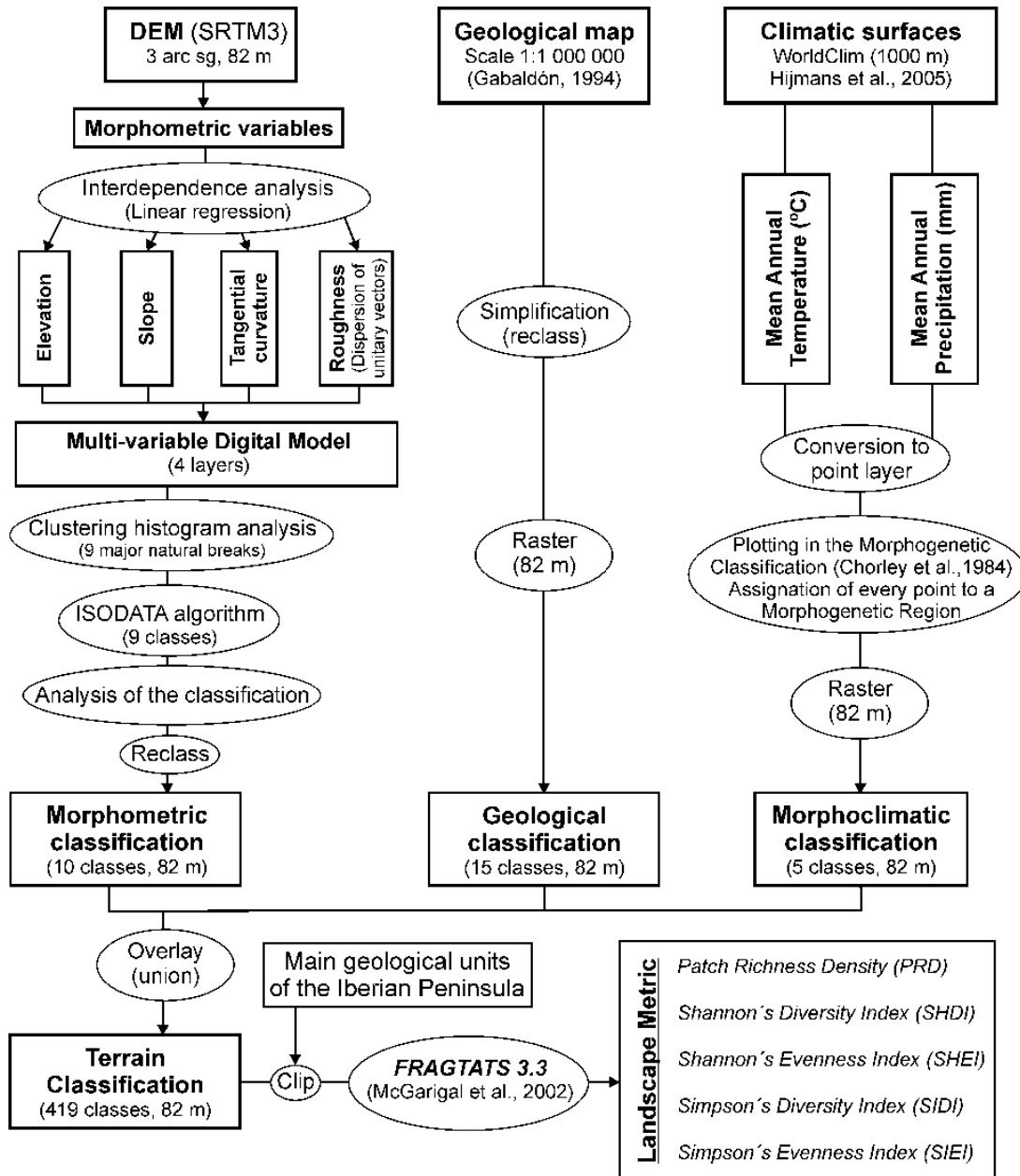


Figura 5.2. – Procedimento metodológico para a avaliação da geodiversidade regional da Península Ibérica (Benito-Calvo *et al.*, 2009).

Como informação de base, foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) SRTM3, um mapa geológico à escala 1: 000 000, e dados climáticos da Base de Dados da WorldClim (<http://www.worldclim.org/>), os quais resultaram num mapa morfométrico, num mapa geológico simplificado e num mapa morfoclimático, respectivamente.

A informação base serviu para proceder a uma classificação regional do relevo, baseada nas já referidas variáveis associadas à geodiversidade. Esta classificação inicial do relevo visou a identificação da heterogeneidade da topografia da Península Ibérica, tendo sido utilizado para o efeito o *software* ArcGis 9.2.

Relativamente à classificação de áreas morfométricas, e tendo em conta que segundo Benito-Calvo *et al.* (2009) não existe ainda um método standard para a sua classificação, foi feita uma classificação estatística de forma a explorar a ocorrência natural dos parâmetros morfométricos, incluindo a variedade natural das áreas topográficas regionais nas diferentes regiões ibéricas. No que se refere à elaboração do mapa morfométrico, este foi gerado através da aplicação de técnicas estatísticas de classificação aplicadas a um modelo multi-camadas, composto por variáveis morfométricas obtidas do MDT (SRTM3), com resolução espacial de 82 metros. Obtiveram-se, desta forma, as principais variáveis morfométricas posteriormente analisadas através de técnicas de regressão linear, com vista à avaliação da sua interdependência.

Desta análise evidenciaram-se as variáveis altimetria, declive, curvatura tangencial e rugosidade, as quais serviram para elaborar o já referido modelo multicamadas. Estas variáveis foram classificadas utilizando um algoritmo próprio (ISODATA). Neste algoritmo, o número de classes foi determinado utilizando um histograma de *clusters*, de forma a identificar as classes mais representativas. O mapa resultante desta classificação foi avaliado através do estudo das definições morfométricas e geomorfológicas das classes (Benito-Calvo *et al.*, 2009). Segundo os autores, a interpretação dos resultados permitiu a obtenção da classificação morfométrica final, composta por categorias de propriedades homogéneas à escala de trabalho.

Relativamente à classificação geológica, esta foi obtida através do mapa geológico da Península Ibérica (escala 1: 000 000), o qual foi simplificado considerando as classes geológicas comuns, incluindo também os tipos de rocha e as suas idades, convertendo-se finalmente num mapa em formato *raster*.

Já no que se refere às regiões morfoclimáticas da Península Ibérica, Benito-Calvo *et al.* (2009) referem os critérios propostos por Chorley *et al.* (1984) para a sua determinação, baseando-se na temperatura média anual e precipitação, considerando também a sazonalidade (dados WorldClim).

Findadas as classificações morfométricas (10 classes), geológicas (15 classes) e morfo-climáticas (5 classes), procedeu-se a uma operação de *overlay* (SIG), com vista à classificação final do relevo, a qual resultou na ocorrência de 419 classes.

As variáveis de geodiversidade obtidas através desta classificação, foram calculadas utilizando métricas de paisagem disponíveis no *software* FRAGTATS (*Patch Richness Density; Shannon 's Diversity Index; Shannon 's Eveness Index; Simpson 's Diversity Index; Simpson 's Eveness Index*), o qual foi desenvolvido com vista à quantificação das características das paisagens e os seus componentes no campo da ecologia da paisagem.

Este *software* quantifica a configuração geométrica e espacial das classificações da paisagem, operando em três níveis de informação:

- Áreas de reduzida dimensão (área individual de uma unidade do mapa);
- A nível de classe (uma unidade do mapa);
- A nível de paisagem.

Importa referir que, neste trabalho, os autores utilizaram e compararam os índices mais utilizados na análise da paisagem.

Como factos finais a destacar pelos autores, interessa referir que os índices de riqueza foram considerados como insuficientes para comparar a complexidade geológica entre paisagens diferenciadas, já que não providenciam informação sobre a estrutura e são também fortemente influenciados pela área.

É também referido que os valores de diversidade e uniformidade mostram uma clara relação com a evolução geodinâmica das paisagens analisadas, sendo que as suas variações poderão ser explicadas de acordo com as características geológicas e geomorfológicas de cada região.

Relativamente à utilização dos índices métricos, os autores destacam que a diversidade e uniformidade não consideram a importância de classes individuais ou a unicidade, quantificando exclusivamente a variedade e a distribuição de áreas diminutas na paisagem. Desta forma, os índices métricos não são medidas absolutas e os valores computados são função de como a paisagem é definida, especialmente tendo em conta o critério de classificação e a escala de análise, que determina a geodiversidade a níveis diferenciados (Nieto, 2001).

Como conclusão, Benito-Calvo *et al.* (2009) destacam que os resultados indicam que estes índices de diversidade espacial podem ser muito úteis para a avaliação da geodiversidade, isto caso sejam aplicados em análises comparativas a nível de paisagem, utilizando obviamente os mesmos critérios e resolução espacial.

5.3.5. Método de Zbigniew (2009)

Centrando a análise quantitativa da geodiversidade num contexto menos abrangente do que as metodologias até agora descritas, Zbigniew (2009) propõe uma metodologia de quantificação aplicada à diversidade das formas de relevo, que resulta num mapa da geodiversidade dos Cárpatos polacos. Importa salientar que o contexto menos abrangente relaciona-se com o conceito de geodiversidade que Zbigniew (2009) considerou de forma mais restrita. O autor sublinha que a geodiversidade se refere especificamente a geossistemas particulares, nomeadamente os geoecossistemas montanhosos, os quais são por natureza diversos e/ou complexos.

Genericamente, esta metodologia decorre da elaboração de três mapas base, em ambiente SIG: um mapa relativo às formas de relevo, um mapa de fragmentação das formas de relevo e um mapa de preservação das formas de relevo.

Estes três mapas base são posteriormente utilizados para a elaboração do mapa final, afecto à geodiversidade das formas de relevo.

O autor sustenta que o uso de um SIG neste contexto permite traçar as características e mudanças ocorridas nas paisagens naturais, bem como as transformações causadas pelas actividades antrópicas nas formas de relevo.

Zbigniew (2009) refere que a avaliação da metodologia segue os seguintes parâmetros:

- Aplicabilidade para o estudo da geodiversidade das formas de relevo situadas no sector polaco dos Cárpatos, procurando testar esta nova abordagem na descrição e avaliação destas formas de relevo, facto que permitirá retirar informações importantes no decorrer de todo o processo;
- Requisito de dados e limitações das definições dos SIG.

Sobre este último parâmetro, Zbigniew (2009) refere que estes podem depender da metodologia particular utilizada. Enquadrando em termos de escala, o autor descreve que a avaliação é baseada na informação obtida pela aplicação da metodologia a um conjunto de dados, à escala do país. Estes dados obviamente representam formas de relevo diferenciadas, ocorrendo o mesmo a nível de zonamento morfogenético, climático e geoecológico. Para que o processo seja exequível, o autor propõe a classificação hierárquica das formas de relevo, apresentando uma classificação específica enquanto modelo, em função da diminuição da complexidade:

- Zona morfoclimática: montanha temperada;
- Zona morfogenética;
- Morfossistema: sistema de erosão;
- Tipo de relevo: relevo de deposição;
- Conjunto de formas de relevo: vertentes;
- Formas únicas: taludes.

O autor refere que a geodiversidade das formas de relevo descreve a complexidade da paisagem do ponto de vista geomorfológico, avaliando igualmente os padrões morfogenéticos dos tipos diferenciados de relevo. Assim, a identificação da geodiversidade das formas de relevo, efectuada naquele sector específico dos Cárpatos, inclui a indicação de entidades, caso das zonas morfogenéticas, morfossistemas, tipos de relevo, conjuntos de formas de relevo e formas de relevo simples.

Mais pormenorizadamente, o método desenvolvido por Zbigniew (2009) é baseado na assumpção de que uma forma de relevo é definida por:

1. Contraste hipsométrico;
2. Grau de fragmentação tectónica e erosiva do relevo;
3. Estado de preservação do relevo, como um efeito da cobertura natural do solo, ou então a sua transformação como resultado de mudanças do uso do solo, derivadas das actividades antrópicas.

Estas três condições possibilitam a criação de uma base para a elaboração dos três mapas que representam a estrutura fundamental utilizada na elaboração do mapa final:

1. O mapa da energia das formas de relevo, derivado da transformação numérica de um Modelo Digital de Terreno (SRTM-3, elipsóide WGS84), com resolução horizontal entre 90 a 30 metros e resolução vertical de 1 metro;
2. O mapa de fragmentação das formas de relevo criado a partir de um mapa geomorfológico (1: 500 000) e de mapas hipsométricos, segundo o método de Starkel's (1998);

3. O mapa de conservação das formas de relevo contemporâneas, resultado de pós-processamento da Base de Dados Corine Land Cover (2000) com uma resolução espacial de 250 metros.

Na modelação da geodiversidade das formas de relevo, Zbigniew (2009) apresenta duas alternativas:

$$GDL_d = \frac{LE_{0 \rightarrow N} + LF_{0 \rightarrow N} + SP_{0 \rightarrow N}}{T_{0 \rightarrow N}}$$

Ou:

$$GDL_s = \frac{LE_0 + LF_0 + SP_0}{T_0}$$

Onde:

GDL_d – Geodiversidade dinâmica das formas de relevo

GDL_s – Geodiversidade estática das formas de relevo

LE – Elevação local ou elevação relativa

LF – Fragmentação das formas de relevo (segmentação)

SP – Estado actual da conservação das formas de relevo (processos naturais *vs* processos antrópicos)

T – Evolução do relevo ao longo do tempo

$0 \rightarrow N$ – Número de etapas do desenvolvimento das formas de relevo

0 – Observação do desenvolvimento das formas de relevo a determinado momento.

Zbigniew (2009) considera fundamental ter em conta um determinado período de tempo (T), referindo que caso seja possível chegar-se a um grande intervalo de tempo para o desenvolvimento das formas de relevo, com várias fases evolutivas, então esta geodiversidade das formas de relevo será dinâmica. No caso da avaliação da geodiversidade se limitar a um determinado momento, então a geodiversidade será estática.

Na consideração de ambas, geodiversidade dinâmica e estática, o autor sustenta que a mais adequada é a primeira, muito embora a sua análise possa apresentar um grau de dificuldade substancialmente maior. Isto deve-se, segundo o mesmo, à multiplicidade de factores que

influenciam a evolução do relevo a diferentes escalas espaciais e temporais. O fluxograma da figura 5.3. representa o procedimento, dividido em três níveis, que leva à elaboração do mapa da geodiversidade estática das formas de relevo:

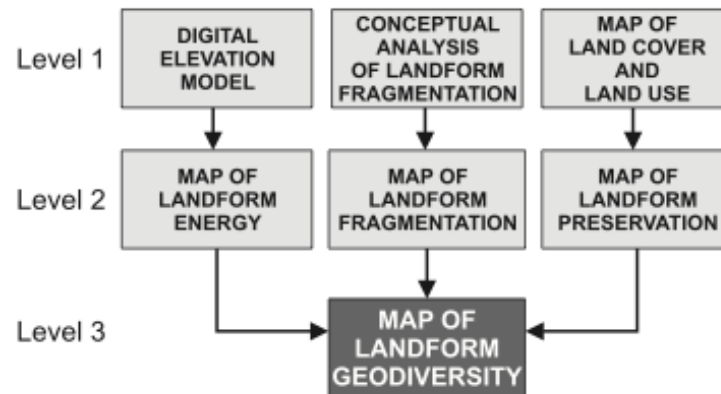


Figura 5.3. – Fluxograma ilustrativo das três fases de criação do mapa da geodiversidade das formas de relevo (Zbigniew, 2009).

Para cada um dos mapas analíticos, foi produzida uma escala de 5 níveis para as classes de geodiversidade:

- Geodiversidade muito elevada – 5 pontos;
- Geodiversidade elevada – 4 pontos;
- Geodiversidade média – 3 pontos;
- Geodiversidade reduzida – 2 pontos;
- Geodiversidade muito reduzida – 1 ponto.

Relativamente ao procedimento para a elaboração do mapa de energia das geoformas tendo por base o Modelo Digital de Terreno (MDT), Zbigniew (2009) efectuou duas análises no 2º nível (Fig.5.3.). A primeira teve como objectivo a transformação de dados altimétricos absolutos em dados relativos, enquanto que na segunda análise o autor atribuiu classes de geodiversidade aos valores de cotas normalizados (relativos).

Posteriormente o MDT foi filtrado obtendo-se um sistema de grelhas para as elevações máximas e mínimas. Seguiu-se uma operação de sobreposição (*overlay*), com operação lógica diferencial entre a elevação máxima e mínima para determinada grelha, resultando no mapa de energia das formas de relevo, no qual se efectuou uma reclassificação das cotas em 5 níveis (0 a 2m; 2 a 10m; 10 a 25m; 25 a 50m; > 50m).

No que concerne ao mapa da fragmentação de geoformas, Zbigniew (2009) apresenta uma tabela (Tabela 5.6.), na qual categoriza a geodiversidade no contexto da fragmentação/segmentação do relevo.

Tabela 5.6. – Categorização da geodiversidade no contexto da fragmentação/segmentação do relevo (Zbigniew, 2009).

Category of geodiversity	Amount of points	Types of relief fragmentation/segmentation
very high geodiversity	5	high-mountain relief transformed by glacial and periglacial processes, with arêtes and gullies
high geodiversity	4	medium and low mountains and high foothills, a dense network of both valleys and ridges, linear tectonic and denudation thresholds with steep slopes as well as high and precipitous (often also densely incised) scarps of gorges
medium geodiversity	3	low foothills, low tectonic and denudation thresholds as well as deeper river gorges
low geodiversity	2	intramontane basins, stretches of low uplands, scarps of varying genesis
very low geodiversity	1	valley floors (margins of river terraces were omitted)

Já no que se refere ao mapa de preservação das geoformas, o autor apresenta igualmente uma tabela de categorização da geodiversidade, mas no contexto da preservação do relevo (Tabela 5.7.).

Para este terceiro mapa, Zbigniew (2009) refere que o seu processamento envolveu a atribuição de uma de cinco classes de geodiversidade (muito baixa a muito elevada) em 37 tipos de uso e de cobertura de solos. O autor sustenta que esta operação revelou a contribuição dos factores naturais e/ou antrópicos na criação, desenvolvimento e mudanças, incluindo a completa transformação de formas de relevo naturais em formas de relevo antropogénicas. No nosso entender, este mapa revela-se de particular interesse, na medida que possibilita uma análise, inovadora, sobre o impacto da acção antrópica na superfície terrestre, relacionando-o com a temática da geodiversidade.

Tabela 5.7. – Categorização da geodiversidade no contexto da preservação do relevo (Zbigniew, 2009).

Category of geodiversity	Amount of points	Types of relief fragmentation/segmentation [extracted from Starkel (1998) for mountain areas only]
very high geodiversity	5	very high level of relief preservation: the morphological surface is the least transformed by morphogenetic processes and almost untouched by man-made processes, i.e. primeval mountain forests, peat bogs, swamps
high geodiversity	4	high level of relief preservation; areas sporadically affected by morphogenetic processes with a slight contribution of man-made processes, i.e. slopes with landslides
medium geodiversity	3	medium level of relief preservation as a result of both morphogenetic and man-made processes, i.e. arable grounds
low geodiversity	2	poor level of relief preservation indicating substantial changes in the relief as a result of human activity, i.e. urban areas
very low geodiversity	1	very poor level of relief preservation, i.e. a complete transformation of the relief by man, the transformation being usually irreversible, i.e. mine-industrial areas, quarries, dam reservoirs

Prosseguindo para o mapa final da geodiversidade das formas de relevo, Zbigniew (2009) descreve que este foi criado através da análise da informação geográfica em duas fases. Após a sobreposição dos três mapas iniciais, e tendo em conta que todos eles foram reclassificados em 5 classes de geodiversidade, com valores quantitativos entre 1 a 5, esta operação de *overlay* resultou na existência de 13 classes. Isto enquanto soma dos valores dos 3 mapas iniciais, com pontuação que variou entre 3 e 15.

O autor sustenta que este procedimento se revelou como insatisfatório, já que não terá permitido avaliar as formas de relevo em divisões maiores do que aquelas que o mapa geomorfológico permitia. Desta forma o mesmo procedeu a um ajuste, utilizando a análise de *clusters*, já na segunda fase, reclassificando as 13 classes em apenas 5:

1. Geodiversidade muito elevada (13 a 15 pontos);
2. Geodiversidade elevada (10 a 12 pontos);
3. Geodiversidade média (7 a 9 pontos);
4. Geodiversidade baixa (4 a 6 pontos);
5. Geodiversidade muito reduzida (3 pontos).

Do mapa final da geodiversidade das formas de relevo, Zbigniew (2009) destaca que cerca de 90% do total da área considerada, corresponde às classes de geodiversidade alta e média.

De forma expectável, o autor salienta que as áreas com influência antrópica representam áreas de baixa geodiversidade, facto que demonstra que a sua metodologia é um instrumento válido no que concerne à avaliação quantitativa da geodiversidade.

Como facto peculiar, salienta o facto de o mapa da geodiversidade das formas de relevo se assimilar ao mapa da energia de relevo. Já relativamente ao mapa de preservação do relevo, é referida a sua contribuição, em boa medida, para a determinação dos tipos de formas de relevo antrópicas.

Em termos conclusivos face à análise da geoinformação, Zbigniew (2009) destaca as suas enormes potencialidades no estudo da geodiversidade e da sua dinâmica, facto que pode ter efeitos muito benéficos em termos de ordenamento e gestão do território.

Tendo em conta (i) o grande desenvolvimento dos SIG, nomeadamente ao nível do *software* de código aberto, (ii) a actual diversidade de ferramentas de análise espacial e (iii) o crescente número de geoinformação disponibilizada por entidades públicas e/ou privadas parece-nos evidente o potencial deste tipo de análise, especialmente ao nível do ordenamento do território. No entanto este potencial está por concretizar no domínio da avaliação da geodiversidade.

5.3.6. Método de Hjort & Luoto (2010)

Tendo como objectivos genéricos o mapeamento e a quantificação da geodiversidade numa paisagem de latitude elevada, Hjort & Luoto (2010) desenvolveram um método aplicado a uma área de 285 km², no Norte da Finlândia, com vista à:

1. Inventariação e descrição da variação espacial da geodiversidade numa paisagem subártica;
2. Testar e aplicar quatro medidas de geodiversidade, nomeadamente (1) a geodiversidade total, (2) a variabilidade dos processos geomorfológicos, (3) a variabilidade dos elementos e (4) o índice de geodiversidade proposto por Serrano & Flaño (2007).
3. Explorar a relação entre topografia e geodiversidade.

Na determinação dos elementos da geodiversidade, foram utilizadas as classificações de Gray (2004) e Serrano & Flaño (2007), tendo sido incluídos na lista elementos da geologia,

geomorfologia e hidrologia (Tabela 5.8.) e excluídas a pedologia e a topografia, ou rugosidade. Relativamente à omissão destes dois últimos elementos, os autores referem, que no que concerne aos solos, a dificuldade em determinar as suas propriedades à escala de paisagem. Julgamos que este facto se poderá dever à inexistência de mapas de solos à escala de paisagem e àquela latitude, o que pode justificar a exclusão do elemento solo.

Já no que se refere à topografia, ou rugosidade, e citando Serrano & Flaño (2007), a sua exclusão ocorreu devido à dificuldade em determiná-la de forma não ambígua, enquanto elemento da geodiversidade.

No que se refere à escala de análise, foi usada uma grelha com resolução de 500×500m o que possibilita a utilização de várias fontes de informação, desde inventários de campo detalhados até mapas com informação mais genérica.

A escolha da escala de trabalho, segundo Hjort & Luoto (2010), teve em conta não só a escala a que os elementos da geodiversidade podem ser detectados, bem como a extensão da área de estudo (285 km²). Este último facto terá levado à exclusão dos elementos de menor dimensão, caso das micro-formas e dos minerais.

Relativamente aos elementos da geodiversidade de dimensão mais significativa, os autores referem que a sua dimensão levou à utilização de um sistema de mapeamento mais simples, tendo-se considerado os elementos como presentes ou ausentes das quadrículas 500×500m. Consequentemente, o objectivo não foi o de medir a abundância de elementos nem a sua diversidade.

Hjort & Luoto (2010) mencionam que os elementos geológicos e geomorfológicos foram classificados de acordo com as regras de cartografia finlandesas, citando Fogelberg & Seppala (1986) e Seppala (2005). Como apoio ao mapeamento preliminar das formas geológicas e geomorfológicas foi efectuada interpretação estereoscópica, à escala 1: 31 000, além da utilização de mapas topográficos.

Os mapas geológicos, à escala 1: 400 000, serviram de base de dados para os elementos geológicos, enquanto que para a determinação dos depósitos quaternários foi utilizado um mapa digital de depósitos superficiais, com resolução espacial de 20m.

Os elementos hidrológicos (Tabela 5.8.) foram compilados utilizando bases de dados, à excepção das nascentes, as quais foram inventariadas durante o trabalho de campo. Para os elementos pontuais, de dimensão mais reduzida, caso das nascentes, a sua dimensão variou entre 1 a 2

metros, enquanto que para áreas variou até 5 metros, caso de locais com erosão eólica ou barras de areia (Hjort & Luoto, 2010).

Fica patente a utilização de escalas muito diferenciadas na análise dos elementos da geodiversidade, facto problemático caso haja algum intuito de comparar territórios diferenciados.

Passando ao segundo objectivo desta metodologia, a informação até então compilada foi utilizada na criação de quatro índices, denominados por medidas de geodiversidade:

- A primeira medida de geodiversidade (geodiversidade total) foi calculada através do número total de elementos presentes na área de estudo;
- Na segunda medida de geodiversidade, os elementos geomorfológicos foram classificados de acordo com a sua génese, de forma a determinar a variabilidade do processo das quadriculas analisadas. O número de elementos foi classificado em 9 grupos, tendo sido calculado também o número total de processos diferenciados.
- Na terceira medida, os elementos da geodiversidade inventariados, foram classificados de acordo com a sua época de formação, de forma a determinar a variabilidade temporal dos elementos presentes nas quadriculas. Os autores referem que na classificação temporal, os elementos foram classificados em 6 grupos (formação do tipo de rocha – Pré-Câmbrico; erosão a longo termo e fase de erosão – Pré-Câmbrico-Pleistocénico; Glaciação pleistocénica; Degelo da plataforma de gelo continental na Escandinávia e Norte da Europa – Weichselian; Holocénico, Processos actuais ou recentes).
- A quarta medida de geodiversidade refere-se ao índice de geodiversidade proposto, e já referido, de Serrano & Flaño (2007), ou seja $G_d = E_g IR / \ln S$.

Referindo-se ainda à terceira medida, Hjort & Luoto (2010) destacam que apesar de a considerarem imperfeita, o sistema de classificação utilizado foi derivado do número elevado de elementos específicos, devido às dificuldades na determinação da idade dos elementos pré-holocénicos e poligenéticos e, por último, devido à história geológica da Finlândia. Referem ainda, sobre os dois últimos grupos (Holocénico e processos actuais ou recentes), que estes se sobrepõem parcialmente, embora tenha sido dado ênfase adicional aos processos recentes.

Quanto ao terceiro objectivo, associado a esta metodologia, e no que se refere aos parâmetros topográficos, os autores referem a utilização de um MDT para computar 11 parâmetros topográficos, a uma resolução de 500×500m. Para este efeito utilizou-se o comando TOPOGRID

do ARC/INFO, criando-se uma grelha com resolução espacial de 20m, tendo-se posteriormente analisado estes parâmetros topográficos através de regressão linear (Spearman), com vista à melhor compreensão da relação entre topografia e geodiversidade.

Em termos de balanço final desta metodologia, salienta-se que foram quantificados em toda a área de estudo um total de 74 tipos diferenciados de elementos de geodiversidade, tendo os mesmos variado entre 2 e 22 em cada uma das quadrículas (geodiversidade total).

Os padrões espaciais da geodiversidade total, da variabilidade dos processos geomorfológicos e do índice de geodiversidade foram similares, enquanto que o padrão da classificação temporal foi mais agrupado.

Hjort & Luoto (2010) referem também que nenhum dos parâmetros topográficos foi, em especial, fortemente associado com a geodiversidade total, além da correlação entre rugosidade topográfica e geodiversidade ter sido fraca. Isto, muito embora os parâmetros topográficos tenham sido utilizados com sucesso na determinação das propriedades topográficas dos locais com alta ou baixa diversidade.

Destacam também que o índice de geodiversidade parece ser razoavelmente dependente do número total de elementos presente numa unidade de estudo (quadrícula), dando conseqüentemente menos informações do que a diversidade total simples, aquando da aplicação de uma abordagem com grelha. No entanto os autores referem que o índice de geodiversidade poderá ser uma medida mais útil se a dimensão da unidade espacial variar consideravelmente.

Sobre este último ponto, Hjort & Luoto (2010) salientam que a cartografia geomorfológica poderá ter o mesmo efeito do que o índice de geodiversidade. Já a medição da diversidade temporal é salientada pela sua maior diferenciação da geodiversidade total, facto que permite um ponto de vista suplementar na medição da geodiversidade.

Esta medição da geodiversidade tem como tema central a escala, especialmente no que concerne à sua análise espacial. Segundo os autores, a escolha do sistema espacial em grelha, apresenta muitas vantagens, nomeadamente devido à possibilidade de dividir objectivamente a área de estudo, facto que, entre outros, permite o estudo de unidades da mesma dimensão. Isto além de evidentemente possibilitar a conversão de variáveis espaciais vagas, para formas numéricas, permitindo então a sua análise quantitativa. Para Hjort & Luoto (2010), este pormenor será determinante para o estudo da geodiversidade em contextos climáticos e topográficos muito diferenciados, além de ser um bom método para explorar as relações entre bio e geodiversidade e outras relações ambientais.

Contudo, e relativamente à escolha do sistema espacial em grelha, julgamos que, ao referirem o facto de o método incidir apenas sobre a presença ou ausência de elementos e não sobre a sua abundância e índices de diversidade relacionados, ficam demonstradas evidentes limitações, nomeadamente ao nível de uma análise espacial avançada.

Hjort & Luoto (2010), mencionam também o facto de este sistema poder ser particularmente importante para a gestão e planeamento, tendo em conta a identificação de factores chave ao nível de todo o mosaico de paisagem.

Tabela 5.8. – Elementos de geodiversidade inventariados e número total de quadrículas presente, a uma resolução de 500×500 m (Hjort & Luoto, 2010).

Elements of geodiversity	Present squares	Elements of geodiversity (cont.)	Present squares (cont.)
Geology		Sandbar	14
Garnet-bearing paragneiss	1083	Shore rampart	8
Orthopyroxene diorite	166		
Quartzite	3	Aeolian	
Boulder and block	463	Parabolic sand dune	11
Glacigenic till	1128	Transversal sand dune	34
Sand and gravel	357	Longitudinal sand dune	61
Peat	480	Deflation surface	234
Hydrology		Deflation depression	87
Lake	28	Fluvial	
Pond	108	Gully	28
River	68	Cutbank	87
Stream	664	River terrace	63
Spring	28	Braided channel	38
Geomorphology		Meandering channel	223
Polygenetic bedrock		Oxbow lake	60
Fracture valley	407	Sandbar	149
Escarpment	14	Delta	2
Outcrop	277	Slope and mass-wasting	

Tabela 5.8. – Elementos de geodiversidade inventariados e número total de quadrículas presente, a uma resolução de 500×500 m (Hjort & Luoto, 2010) (continuação).

Elements of geodiversity	Present squares	Elements of geodiversity (cont.)	Present squares (cont.)
Glacially shaped bedrock	114	Debris flow slope	17
Tor	83	Slushflow track	4
Glacigenic		Solifluction terrace	219
U-valley	124	Solifluction lobe	51
Cirque-like depression	86	Solifluction sheet	231
Transversal moraine	4	Solifluction stream	
Hummocky moraine	107	Ploughing block	
Kettle hole	9	Braking block	
Erratic block	18	Talus slope	
Glaciofluvial		Biogenic	
Subglacial channel	185	Slope mire	105
Gorge channel	251	String mire	87
Lateral Channel	487	Summit peat	14
Overflow channel	112	Cryogenic	
Extramarginal channel	57	Discontinuous permafrost	268
Esker	37	Palsa	25
Kame-hummock	92	Thermokarst depression	14
Kame-terrace	18	Patterned ground, circle	798
Delta	4	Patterned ground, polygon	49
Sandur	25	Patterned ground, net	394
Paleolake and littoral		Patterned ground, step	81
Bottom of ice lake	213	Patterned ground, stripe	137
Paleoshore	18	Block field	28
Wave-cut bluff	10	Lake-lying snow patch	410
Wave-cut platform	14		

Importa apenas complementar com o facto de que Hjort & Luoto (2012) voltaram a utilizar esta metodologia numa outra área da Finlândia, contudo aplicada a uma escala de paisagem com base em modelos de elevação digital e detecção remota.

5.3.7. Método de Manosso (2012)

Embora centrada fundamentalmente em duas metodologias anteriormente resumidas (Serrano & Flaño, 2007; Carcavilla *et al.*, 2007), considera-se importante a referência à metodologia desenvolvida por Manosso (2012).

Desenvolvendo uma quantificação da geodiversidade na Serra do Cadeado (Fig. 5.4.), unidade territorial situada no Estado do Paraná, no Brasil, Manosso (2012) aplicou, na prática, o que Carcavilla *et al.* (2012) propuseram, na teoria, complementando também com o que Serrano & Flaño (2007) haviam já, na prática, desenvolvido. Foi, portanto, um estudo centrado na análise da: i) diversidade; ii) frequência; e iii) distribuição de um determinado número de elementos geológicos, pedológicos, geomorfológicos, paleontológicos e hidrográficos (Tabela 5.9.).

Importa sublinhar que este estudo tem a particularidade de ter sido desenvolvido a nível de unidades de paisagem e não centrado totalmente sobre a quantificação da geodiversidade, facto que lhe dá especial importância já que nenhum outro estudo sobre quantificação da geodiversidade tratou unidades de paisagem.

Partindo de uma base cartográfica constituída por um banco de dados altimétricos (resolução de 90 metros – SRTM – NASA), por um mapa de solos e um mapa geológico do Estado do Paraná, Manosso (2012) procedeu à respectiva análise da Serra do Cadeado (etapa 1), a nível de paisagem e de compartimentação.

Já numa etapa posterior, Manosso (2012) cruza os elementos “solos”, “geologia”, “uso da terra” e “declividade” usando o *software* ArcGis, através da técnica de *overlay*. Isto permitiu, numa primeira análise, delimitar os compartimentos de paisagem que serviram de base para um estudo abrangente que incluiu também a quantificação da geodiversidade.

Já para a análise da distribuição espacial da geodiversidade, Manosso (2012), utilizou a versão posterior do ArcGis (10) para elaborar uma grelha cartográfica, com 11 hectares por célula. Esta base permitiu-lhe contabilizar cada um dos elementos presentes (Tabela 5.9.), possibilitando assim a sua quantificação através do índice de riqueza, proposto por Serrano & Flaño (2007). A cada um dos elementos presentes por cada pixel de 11 hectares, correspondeu um *raster*, sendo que os *rasters* presentes foram somados de forma a que, no final, se tivesse um índice de

geodiversidade (Fig. 5.4.). A cada um dos elementos presentes foi dado o mesmo peso, portanto sem ponderação.

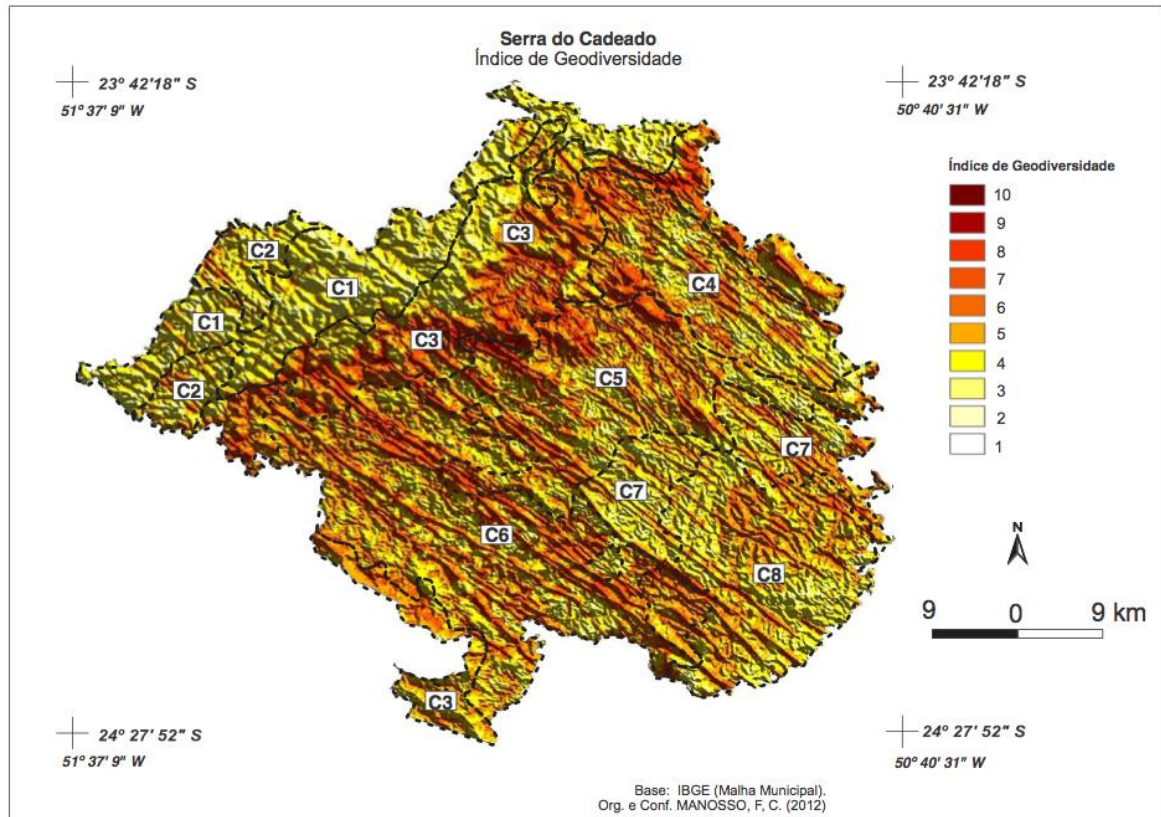


Figura 5.4. – Mapa do índice de geodiversidade da Serra do Cadeado, sobre relevo sombreado (Manosso, 2012).

Além da análise da diversidade, frequência e distribuição, Manosso (2012) calculou igualmente a superfície relativa e a superfície acumulada dos elementos em análise, tal como proposto na metodologia de Carcavilla *et al.* (2007). Estes últimos factos, embora não sejam aqui destacados, afiguram-se relevantes pois, a par da integração dos compartimentos de paisagem neste estudo, Manosso (2012) terá sido o primeiro a quantificar, na prática, quer a superfície relativa quer a superfície acumulada dos elementos referidos.

No final deste estudo, Manosso (2012) refere que os compartimentos que obtiveram menores índices de geodiversidade, estão associados áreas de menor rugosidade, áreas com um menor número de formas e de litologias e com uma baixa configuração de rede de drenagem.

Tabela 5.9. – Quantificação dos elementos da geodiversidade, por compartimento de paisagem e o índice de riqueza (Manosso, 2012).

Elementos da Geodiversidade		Número de Elementos							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Aspectos Geológicos	FORMAÇÕES	1	1	3	2	2	6	5	5
	ROCHAS	2	3	8	5	5	10	7	14
	DENSIDADE LINEAMENTOS	0	7	0	14	7	14	7	0
Aspectos Pedológicos	CLASSES DE SOLO	7	4	12	5	7	5	6	6
Aspectos Geomorfológicos	FORMAS	3	2	9	3	4	3	2	3
	DECLIVIDADE	0	0	14	7	7	7	0	0
	GRADIENTE do RELEVO	14	7	14	7	14	7	7	7
	Orientação de vertente	14	7	0	7	0	0	0	7
Aspectos Paleontológicos	AMBIENTES PRETÉRITOS	0	0	3	7	7	10	5	6
	FÓSSEIS	0	0	7	7	7	13	7	13
Aspectos Hidrográficos	TIPO DE DRENAGEM	0	0	7	7	0	7	7	7
	DENSIDADE DE DRENAGEM	0	14	0	14	0	14	14	0
TOTAL DE ELEMENTOS		41	45	77	85	60	96	67	68
ÍNDICE DE RIQUEZA DA GEODIVERSIDADE		1,13	2,02	2,04	2,84	2,33	2,59	1,79	2,05
ln		6,31	5,09	6,78	5,98	6,45	6,79	5,94	6,26

5.3.8. Método de Ondicol (2012)

Centrado sobre o Maciço de Fuentes Carrionas, em Espanha, Ondicol (2012) dedica um capítulo da sua tese de doutoramento à avaliação da geodiversidade intrínseca. De realçar o facto de, tal como a metodologia de Zbigniew (2009), esta ser uma metodologia centrada fundamentalmente sobre uma área montanhosa, com um gradiente altitudinal significativo, de 1000 a 2536 metros.

No que concerne aos objectivos desta metodologia, Ondicol (2012) refere a avaliação da geodiversidade intrínseca, nomeadamente a nível dos elementos geológicos e geomorfológicos (e.g. formas cársicas), sem considerar alguns elementos, caso do solo e dos fósseis, dada a falta de dados.

Este autor destaca ainda que a avaliação em causa se resume estritamente em termos da ocorrência, ou não, dos elementos atrás referidos e não no que concerne ao valor patrimonial dos mesmos. Complementa com a referência ao facto de não ser sua intenção comparar esta com outra qualquer área.

Partindo então para a metodologia em si (Fig. 5.5.), Ondicol (2012) baseou os cálculos na fórmula de Serrano y Flaño (2007), já aqui devidamente explanada (subponto 5.3.3.). No entanto, e tendo em conta a fórmula apresentada, parece-nos que, tendo em conta a retirada do parâmetro “rugosidade”, a fórmula se assemelha mais à de Carcavilla *et al.* (2007), quando este apresenta uma fórmula para o cálculo da geodiversidade intrínseca, já descrita anteriormente (subponto 5.3.2.). Ao invés de utilizar o parâmetro “rugosidade”, tal como Serrano y Flaño (2007), Ondicol (2012) retirou-o e utilizou nos cálculos o número de elementos por unidade de medida, o pixel, à semelhança do proposto por Carcavilla *et al.* (2007).

Em termos de escala de trabalho, esta metodologia foi desenvolvida à escala de 1: 10 000, tendo sido escolhido, enquanto unidade de medida, para análise em ambiente SIG, um pixel com dimensão de 1 hectare, o qual foi considerado a dimensão adequada para abarcar os elementos geológicos e geomorfológicos analisados.

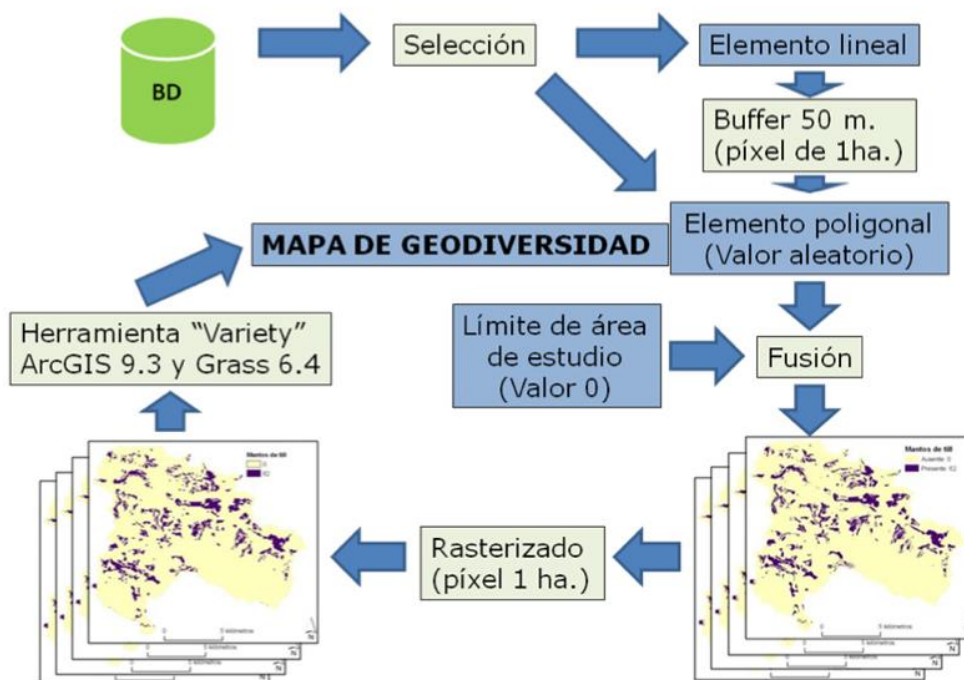


Figura 5.5. – Processo de cálculo da geodiversidade (Ondicol, 2012).

Foram cerca de 113 os elementos considerados, aos quais correspondem 113 classes para posterior análise. Estas classes, representadas inicialmente por polígonos, linhas e pontos, foram, com a óbvia excepção dos polígonos, transformados em polígonos. Através de um *buffer* de 50 metros. No caso das linhas, 50 metros para cada um dos lados e no caso dos pontos, um raio de 100 metros. Transformaram-se linhas e pontos em polígonos, possibilitando assim o seu tratamento em SIG, através do *software* ArcGis, versão 9.3. Assim sendo, foi possível analisar a

quantidade de classes/elementos presentes em cada pixel de 1 hectare, sendo que foi considerado o valor 0 (zero) para os pixels onde não existiam elementos e o valor de 1 para cada um dos elementos presentes. Neste caso, o valor 0 não é possível, já que pelo menos duas das classes, litologia e estruturas geológicas, cobrem a totalidade do Maciço de Fuentes Carrionas.

Findada esta fase, Ondicol (2012) procedeu à rasterização dos pixels e posterior sobreposição dos mesmos, ou *overlay*, a qual resultou em valores numéricos, representados num mapa de geodiversidade, de fácil leitura (Fig. 5.6.). Aos locais de maior geodiversidade, corresponderam valores na ordem dos 12 elementos por pixel, enquanto que nos locais de menor geodiversidade, o valor situou-se pelos 2 elementos por pixel.

Os locais de maior geodiversidade correspondem os circos glaciares situados às cotas mais elevadas, bem como os vales glaciares. Aos locais com menor geodiversidade, correspondem, por exemplo, vertentes regulares, não glaciadas e sem variabilidade tectónica.

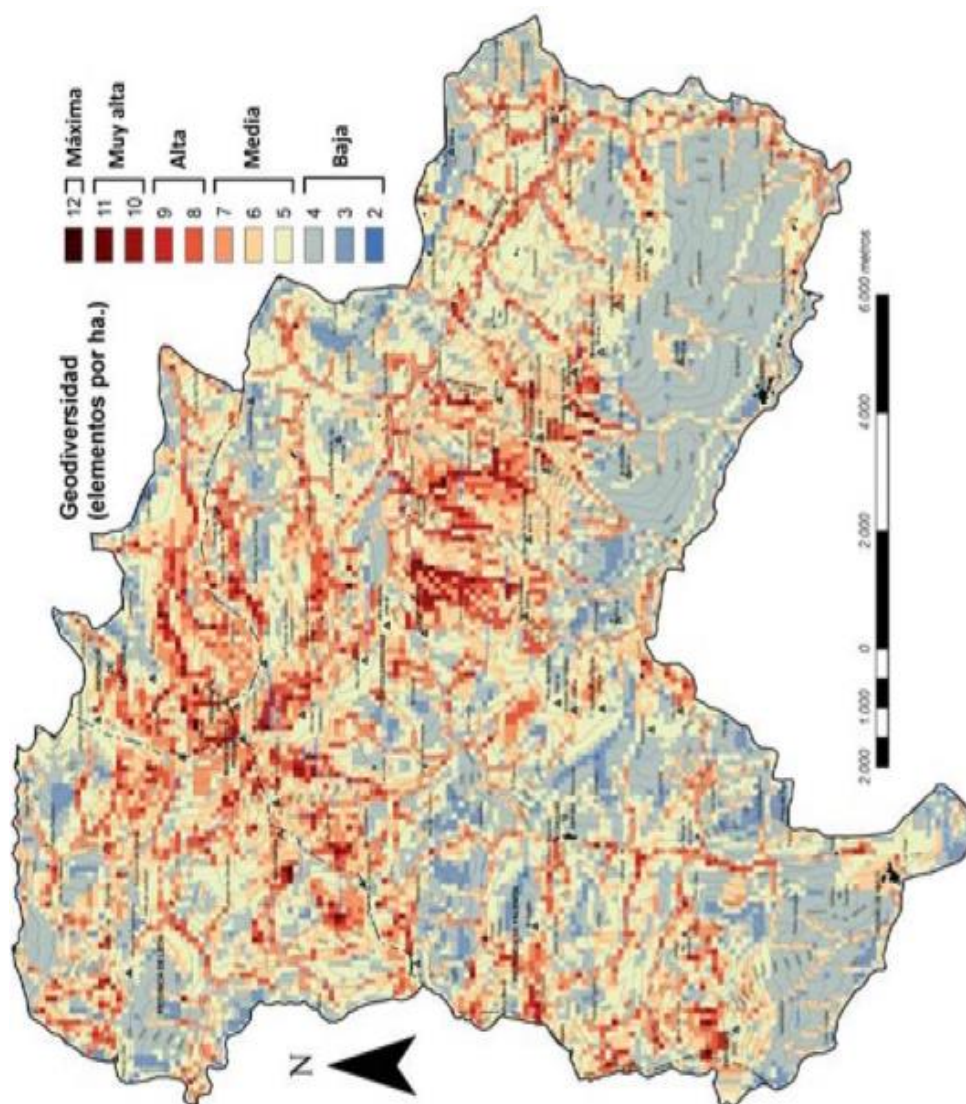


Figura 5.6. – Mapa de geodiversidade do Maciço de Fuentes Carrionas (Ondicol, 2012).

5.3.9. Método de Pereira *et al.* (2013)

Representando este o método de quantificação da geodiversidade mais recentemente publicado, importa destacar o método de Pereira *et al.* (2013), que resulta de uma primeira abordagem realizada por Pereira *et al.* (2012).

Pereira *et al.* (2013) centram a sua análise no Estado do Paraná, no Brasil, território com uma área de 200 000 km².

Nesta metodologia, é desenvolvido um índice de geodiversidade, resultado da soma de 5 índices parciais:

1. Índice geológico;
2. Índice geomorfológico;
3. Índice paleontológico;
4. Índice pedológico;
5. Índice de ocorrências minerais.

Estes índices são calculados através de um sistema de grelha, com quadrículas de 25 por 25 km. O primeiro índice, geológico, teve como base um mapa geológico à escala 1: 500 000. Foram consideradas quer as unidades estratigráficas (formações e grupos), quer as unidades litológicas (e.g. basaltos, granitos), contando-se então quantas, das 45 existentes em toda a área de estudo, existiam em cada uma das quadrículas.

No segundo índice, geomorfológico, teve-se em conta o relevo à escala 1: 650 000, o qual foi dividido em 3 níveis hierárquicos, ou seja:

- Unidades morfoestruturais;
- Unidades morfoesculturais;
- Subunidades morfoesculturais.

Foi também avaliada a componente hidrográfica, através de uma classificação *Strahler* dos cursos de água, onde o valor foi calculado de acordo com o valor máximo da hierarquia presente em cada uma das 371 quadrículas, variando neste caso entre os valores 3 e 1.

O índice paleontológico corresponde ao número de diferentes formações fossilíferas em cada quadrícula.

Relativamente ao índice pedológico, efectuado na base do mapa de solos à escala 1: 600 000, foi calculado de acordo com o número de ordens encontradas em cada uma das quadrículas.

Já o índice de ocorrências minerais, teve em conta vários elementos, a saber, os minerais, as fontes de energia, as águas minerais e as nascentes.

Posteriormente, e já calculados os valores para cada um destes índices parciais, Pereira *et al.* (2013) calcularam o índice de geodiversidade, resultante da soma dos índices parciais. Na base dos valores numéricos encontrados (Fig. 5.7.), situados entre as 5 e as 33 ocorrências de elementos da geodiversidade, foi criado um mapa de isolinhas, com 5 classes, que mostra a variação da geodiversidade no Estado do Paraná.

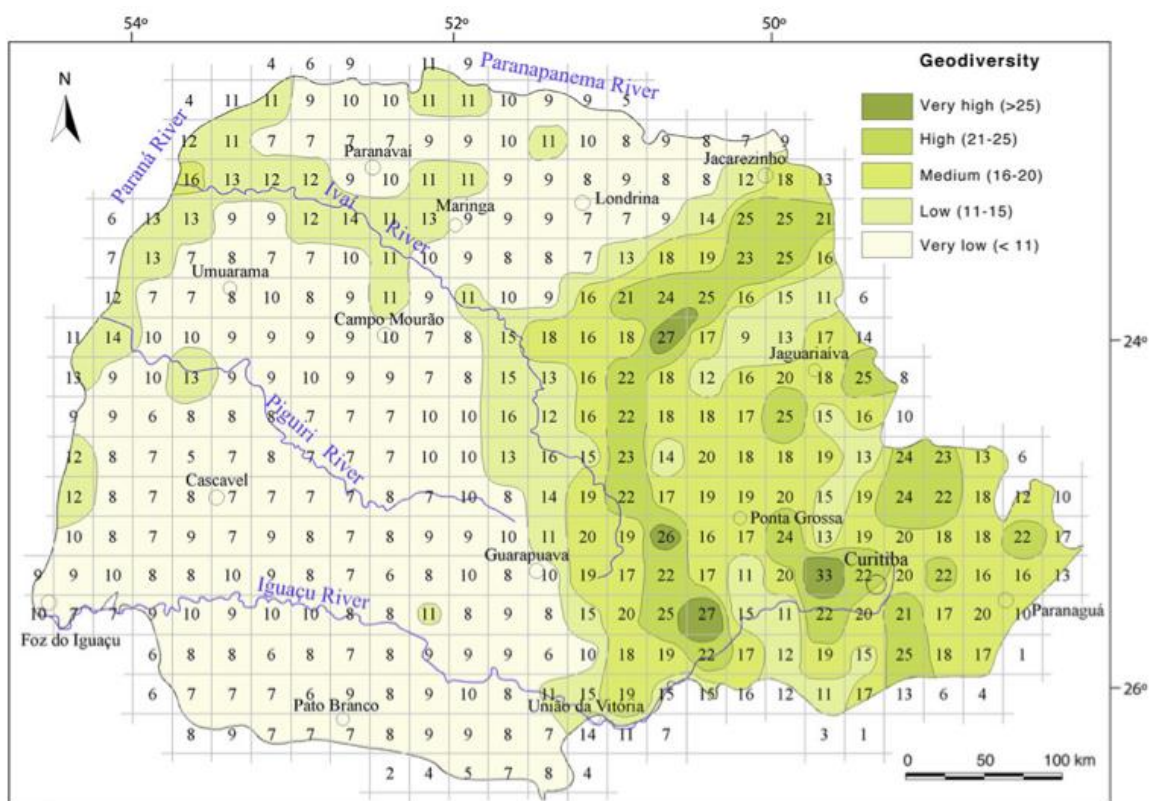


Figura 5.7. – Mapa do índice de geodiversidade para o Estado do Paraná (Pereira *et al.*, 2013).

5.3.9.1. Desenvolvimentos do método

Abordagem algo semelhante à de Jerie (2001), na qual foi desenvolvido um método básico de identificação da geodiversidade associada aos cursos de água, na Tasmânia, Silva (2012) apresenta um desenvolvimento da metodologia de Pereira *et al.* (2012), aplicado à avaliação e potencial de variáveis da geomorfologia fluvial, enquanto indicadores de geodiversidade.

Com este método, Silva (2012) pretende demonstrar a relevância de determinadas variáveis na avaliação da geodiversidade na Amazônia, mais concretamente no sector brasileiro, nos Estados do Pará e do Mato Grosso “*através da caracterização morfológica e análise, por amostragem, de padrões de canais fluviais e de outros parâmetros da morfologia fluvial*”.

Este método implicou uma análise em duas escalas diferenciadas. A primeira, a 1:150000, foi aplicada a 23 áreas, representativas da diversidade de padrões dos canais fluviais na bacia hidrográfica do rio Xingu. A segunda análise foi efectuada a nível da bacia hidrográfica do rio Xingu, à escala 1:250 000.

Para a análise das 23 áreas, a autora baseou-se em dados hidrometeorológicos, dados altimétricos (SRTM), imagens de satélite (LANDSAT) e mapas temáticos. Complementou ainda esta análise com a inserção de uma nova variável, as “mudanças de padrão de canais fluviais”.

A segunda análise, a uma menor escala, Silva (2012) baseou-se em mapas geológicos, geomorfológicos e de solos, tendo aplicado um sistema de grelha com uma dimensão de 14 por 14 km. Aplicou posteriormente a metodologia de Pereira *et al.* (2012), na qual considerou vários sub-índices (Fig. 5.8.).

No índice geológico, foram contabilizadas cada uma das diferentes unidades geológicas presentes em cada quadrícula. No índice geomorfológico, foram consideradas as unidades geomorfológicas ao nível do 3º táxon da proposta de Ross (1992) e os contactos entre unidades morfoestruturais, correspondentes ao nível do 1º táxon (Ross, 1992). Ainda no mesmo índice, e no que concerne à hidrografia, foi considerada a hierarquia de Strahler (2002), mais especificamente maior valor da hierarquia respectiva, bem como as já referidas “mudanças no padrão de cursos fluviais”, valor este multiplicado pela hierarquia do canal onde ocorre a mudança no padrão de curso fluvial.

Quanto ao índice relativo aos solos, a contabilização foi semelhante à do índice geológico. No índice das ocorrências minerais, foi contabilizado um ponto por cada tipo de ocorrência mineral, à semelhança do índice paleontológico, onde foi contabilizado um ponto por cada unidade geológica com fósseis, por quadrícula.

Para a obtenção do mapa relativo aos índices de geodiversidade (Fig. 5.9.), Silva (2012) efectuou a soma de todos os sub-índices atrás referidos, resultando este processo num mapa à escala 1: 4 000 000, com um índice de geodiversidade que varia entre os valores 4 e 32.

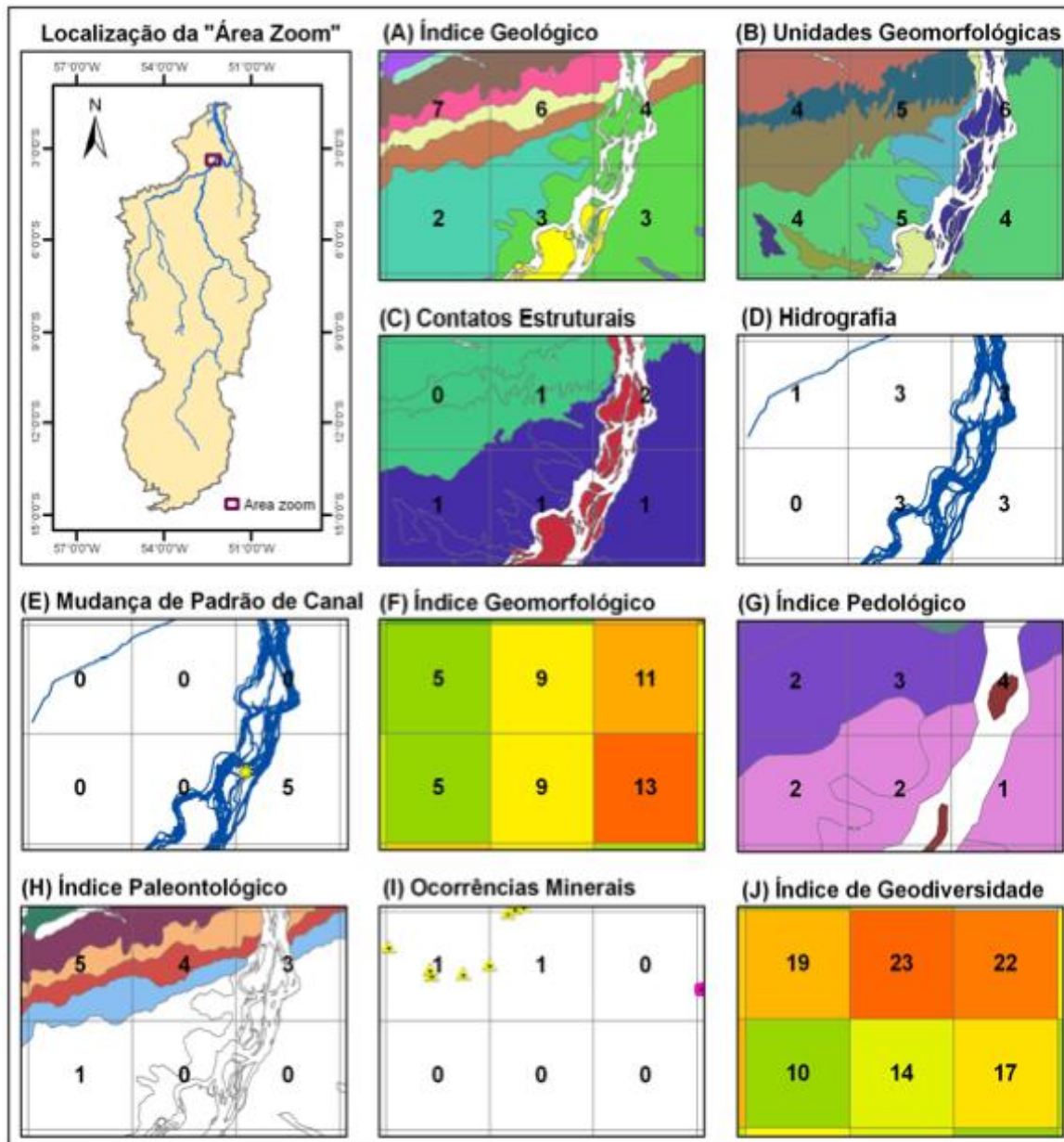


Figura 5.8. – Exemplo de índices de geodiversidade, parcial e total, numa área de elevada geodiversidade situada na bacia hidrográfica do rio Xingu (Silva, 2012).

A) Índice geológico: soma das unidades geológicas representadas pelas diferentes cores; **B)** Unidades geomorfológicas: soma das unidades geomorfológicas representadas pelas diferentes cores; **C)** Contatos estruturais: atribuição de valor 1 para cada contato estrutural; **D)** Hidrografia: hierarquia fluvial/2; **E)** Mudanças de padrão de canal: um ponto multiplicado pela hierarquia para cada mudança de padrão dos canais fluviais; **F)** Índice geomorfológico: soma dos sub-índices unidades geomorfológicas, contatos estruturais e hidrografia; **G)** Índice pedológico: soma das ocorrências dos tipos de solos representados pelas diferentes cores; **H)** Índice paleontológico: soma do número de unidades com registros fósseis (polígonos coloridos) representadas pelas diferentes cores; **I)** Índice de ocorrências minerais: o número de diferentes ocorrências em cada quadrícula; os símbolos representam diferentes recursos minerais e recursos geológicos energéticos; **J)** Índice de geodiversidade: soma dos índices geológico, geomorfológico, pedológico, paleontológico e de ocorrências minerais.

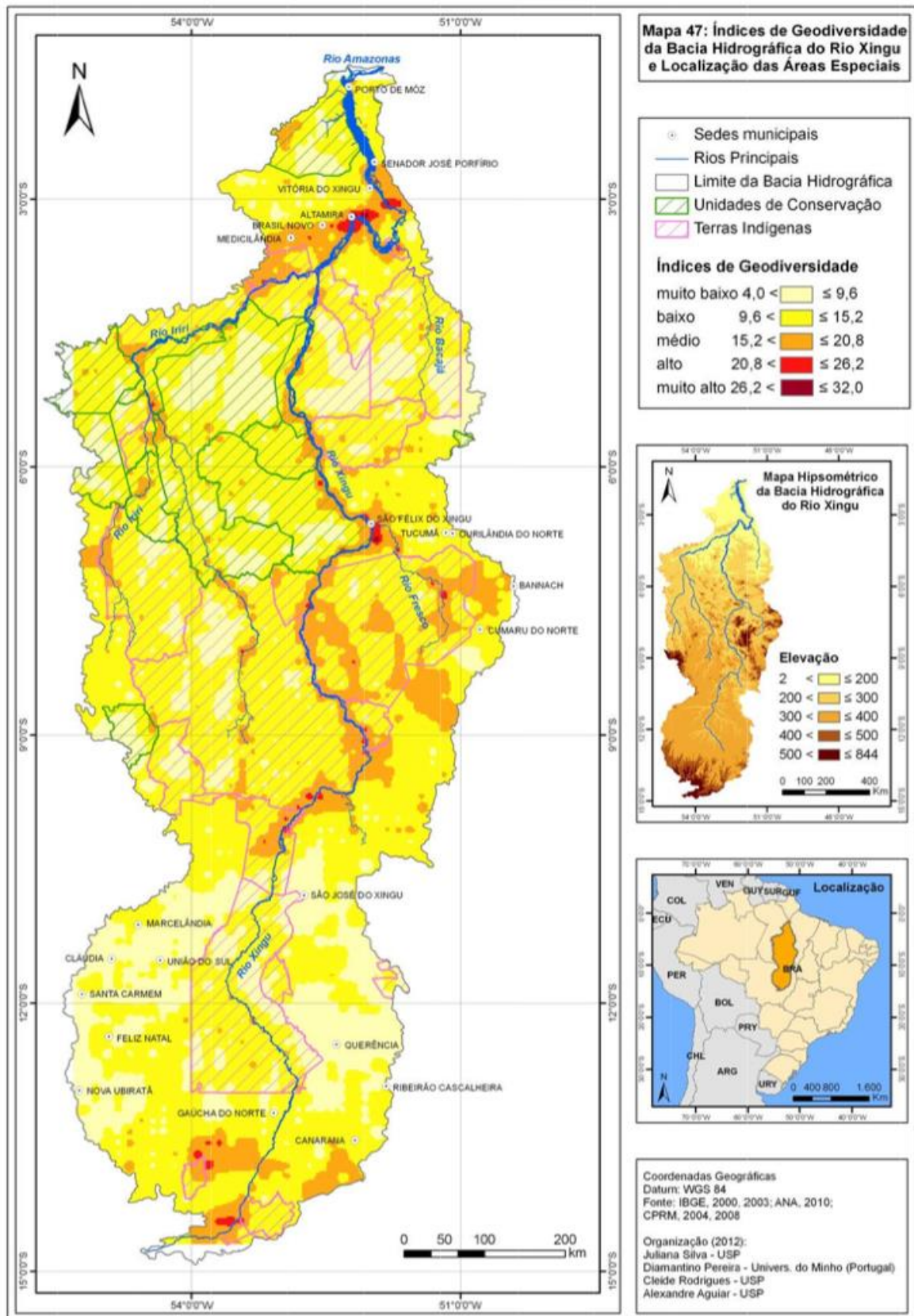


Figura 5.9. – Mapa final dos índices de geodiversidade da Bacia Hidrográfica do Xingu (Silva, 2012).

5.3.10. Outros métodos

Por último, e de modo a finalizar este capítulo, destacamos um outro método de quantificação da geodiversidade, o qual introduz novos elementos à análise desta temática. No entanto a sua descrição é efectuada de forma genérica. Esta limitação deve-se ao facto da informação relativa à descrição do processo estar apenas parcialmente disponível, ao contrário dos métodos até agora descritos.

O mapa de geodiversidade da Islândia (Fig. 5.10.) foi elaborado ao abrigo de um projecto de cooperação que englobou vários países nórdicos, nomeadamente a Islândia, Finlândia, Noruega e Irlanda, que decorreu entre 2008 e 2010. O *Northern Environmental Education Development* (NEED) foi um projecto que teve como intuito a divulgação do conhecimento geológico, através da elaboração de módulos e materiais de estudo. Isto com vista à geoliteracia dos habitantes, de forma a que estes possam, entre outros, utilizar este conhecimento em termos turísticos (<http://www.uef.fi/need>).

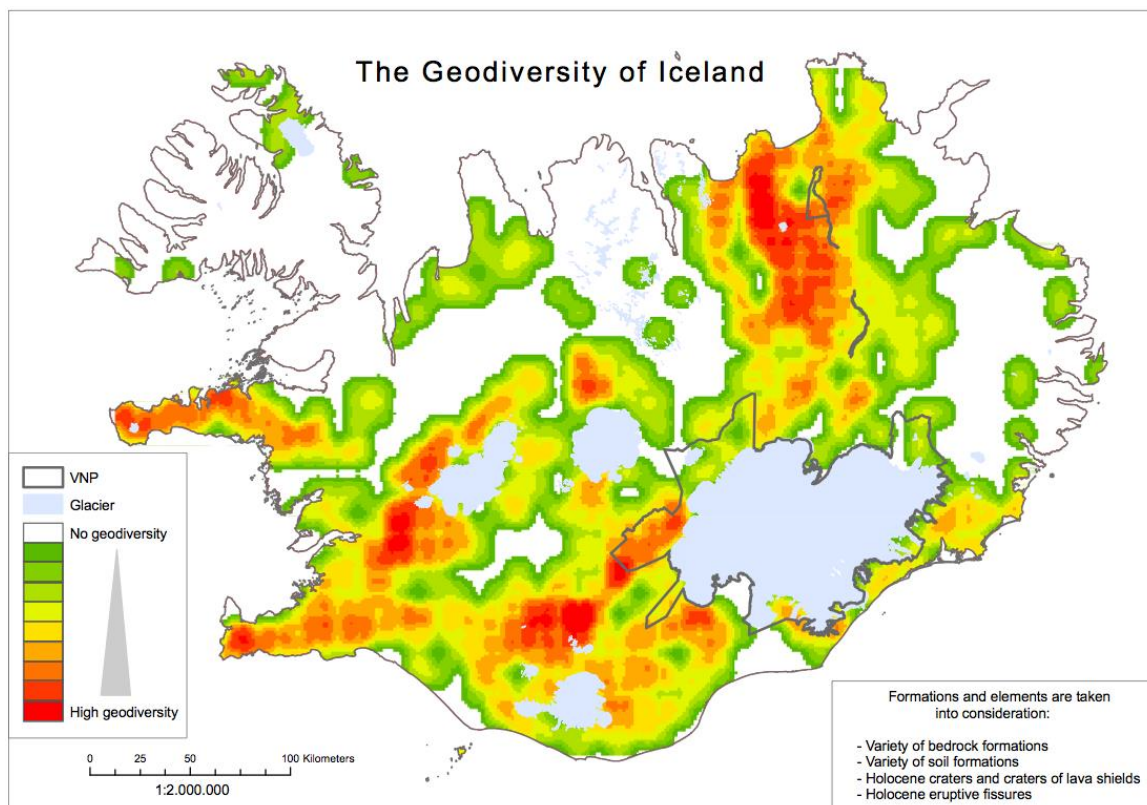


Figura 5.10. – Mapa de geodiversidade da Islândia.

Fonte: http://www.need.is/iceland/pdf/vers_geodivers.pdf

Mesmo apesar da falta de informação acerca deste método, consegue-se discernir, de forma genérica, a metodologia, não só pela análise do mapa e respectiva legenda, bem como pela análise de outro mapa, relativo à geologia deste país (Fig. 5.11.).

Através deste último mapa, parece-nos que foi utilizado um pixel, enquanto unidade de medida, com 12,5 km de dimensão, sendo que para cada um destes terá sido considerado o número de classes (litologia) presentes, resultando num *overlay*, ou sobreposição, de classes. Esta sobreposição resultou no número total de classes/elementos presentes em cada um dos pixéis, variando entre 1 e 8.

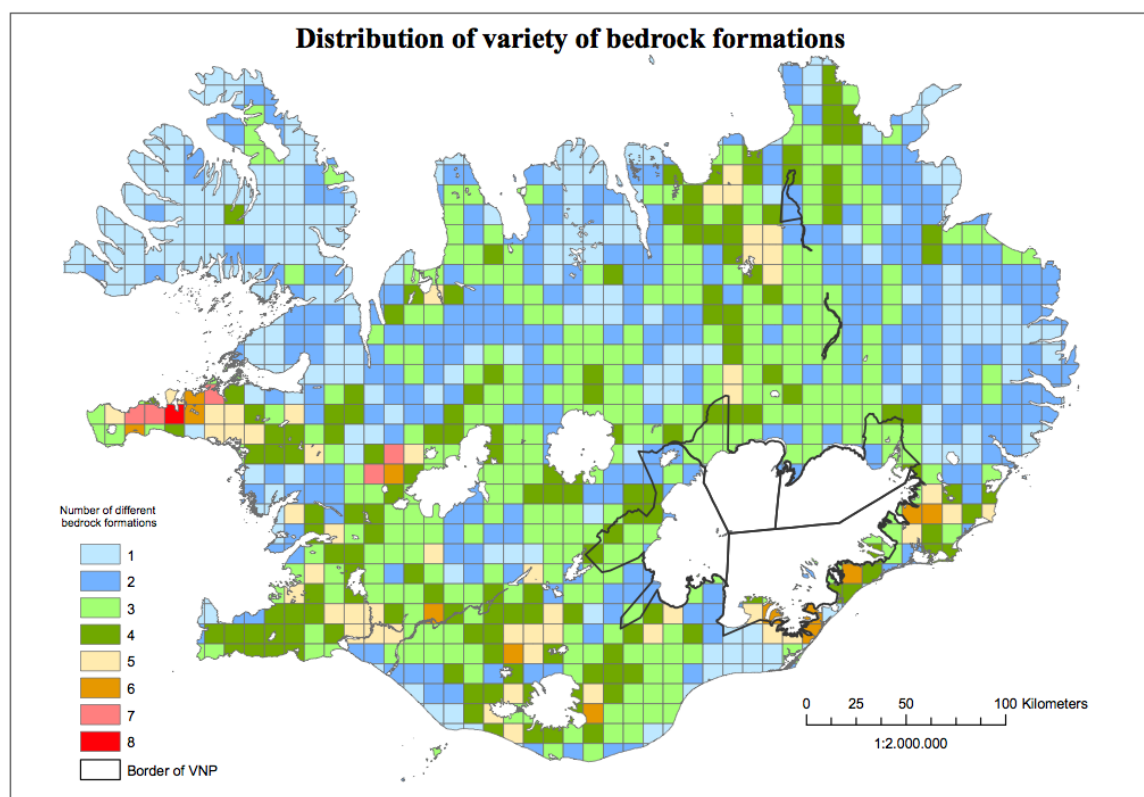


Figura 5.11. – Mapa de distribuição da variedade de formações litológicas da Islândia.

Fonte: http://www.need.is/iceland/pdf/bedrock_variety.pdf.

Na elaboração do mapa de geodiversidade da Islândia (Fig. 5.10.) foram consideradas formações (variedade de formações litológicas e a variedade de solos) e elementos (crateras holocénicas e fissuras holocénicas eruptivas). O processo de tratamento em ambiente SIG terá sido o mesmo, ou seja a sobreposição de elementos em cada uma das unidades de medida, o pixel, sendo que posteriormente terão tido outro tipo de tratamento. Tendo em conta que este é um mapa de continuidade espacial, possivelmente terá sido utilizado algum tipo de índice ou filtro.

Ao contrário do mapa de distribuição da variedade de formações litológicas (Fig. 5.11.), o mapa da geodiversidade da Islândia (Fig. 5.10.) não apresenta valores numéricos, facto que, em parte, limita a leitura e análise do respectivo mapa.

Importa, por último, referir que o contacto feito com o responsável finlandês do projecto NEED, Professor Thorvador Arnason, não permitiu avançar muito mais quanto à percepção, num domínio mais preciso, da metodologia em causa. Apenas nos foi comunicado que esta metodologia teve a sua origem num projecto que este desenvolveu com Andreas Zöhrer, especialista em SIG, o qual utilizou informação cartográfica estandardizada, a nível nacional. Foi também referido o evidente facto de parte da informação utilizada centrar-se em boa medida nos fenómenos vulcânicos, pormenor que torna o método redutor do ponto de vista da avaliação da geodiversidade.

Além da falta de informação referida, foi igualmente abordada a problemática da escala, a qual levantou alguns problemas metodológicos, os quais não tiveram continuidade por encerramento do projecto.

É, portanto, uma metodologia não completamente desenvolvida e, até agora, com desenvolvimento em *stand-by*.

Capítulo 6

**ENQUADRAMENTO DAS ÁREAS DE ESTUDO:
MAFRA (PORTUGAL) E MORRO DO CHAPÉU (BRASIL)**

6.1. Município de Mafra - Portugal

6.1.1 Enquadramento geográfico

O concelho de Mafra, que representa a primeira área de estudo, localiza-se no sector litoral da região centro-sul de Portugal Continental (Fig. 6.1.). Pertencendo à área metropolitana de Lisboa e ao respectivo distrito, o concelho de Mafra tem uma área de 291km² e é limitado pelos concelhos de Torres Vedras, a norte, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Loures, a leste e sudeste, e Sintra, a sul.

Nos censos de 2011 (INE), o município de Mafra contava com uma população de 76685 habitantes, distribuídos por 17 freguesias.

Decorrente da reorganização administrativa, ocorrida em 2013, o número de freguesias do concelho de Mafra foi reduzido para as actuais 11 (Fig. 6.1.), após várias agregações de freguesia.

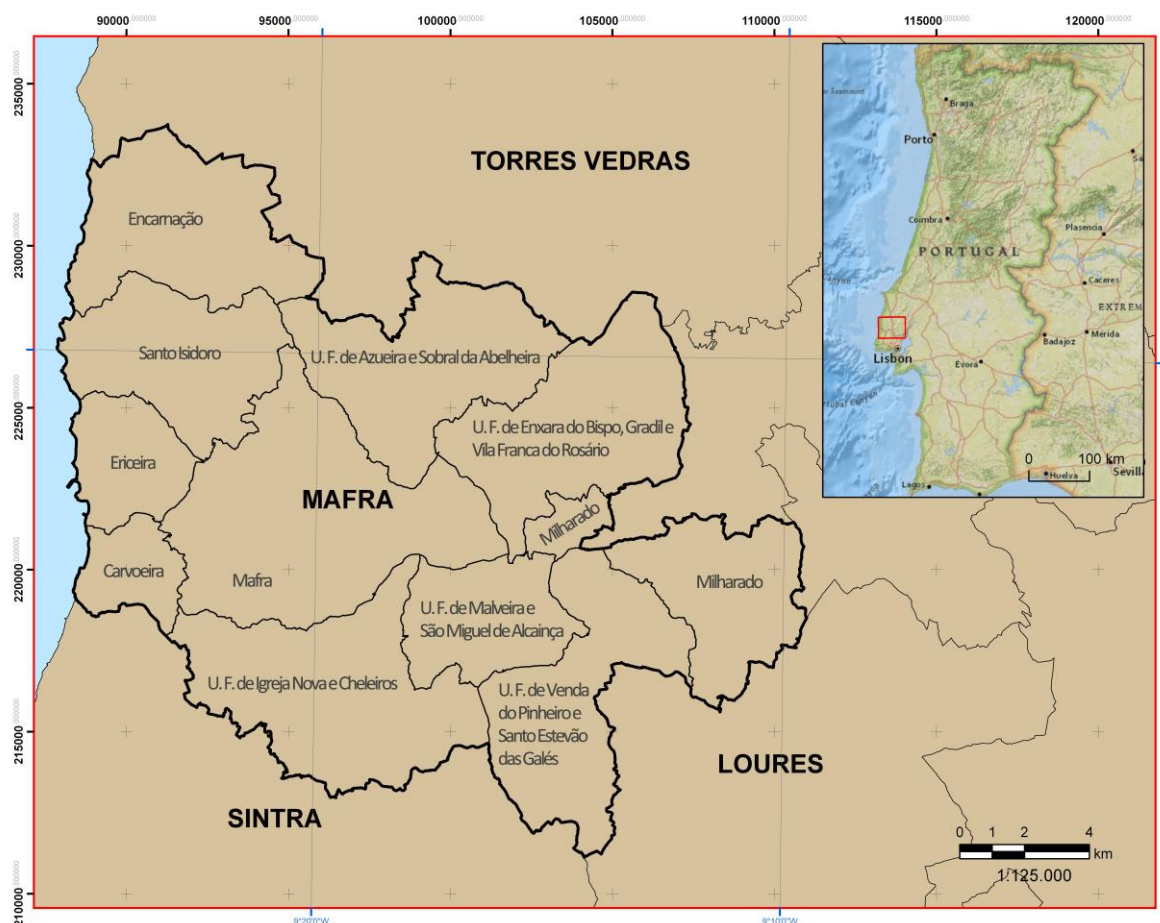


Figura 6.1. – Mapa de enquadramento do concelho de Mafra em Portugal Continental.

6.1.2. Características gerais do clima

Para a caracterização do regime climático do concelho de Mafra, foram utilizados os dados da estação meteorológica de Sintra/Granja (Fig. 6.2.), situada a Sul da área de estudo. A indisponibilidade de dados que abrangem uma normal climatológica mais recente, leva-nos à utilização dos dados mais fiáveis e proximais ao concelho de Mafra, o que apesar de ser uma condicionante em termos de análise, não compromete o nível de análise necessário para uma breve caracterização climática.

Os dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) sobre a classificação climática de Köppen, para Portugal Continental, conferem com a normal climatológica de 1951-1980, sendo que o tipo climático de Mafra é do tipo Csb, ou seja um clima temperado com verão seco e suave.

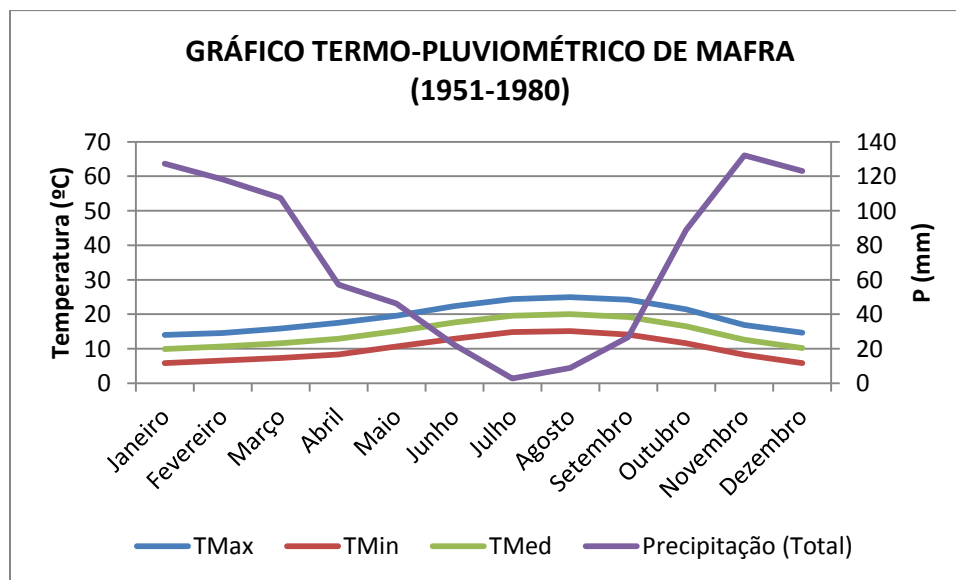


Figura 6.2. – Gráfico termo-pluviométrico da estação meteorológica de Sintra/Granja. Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera.

Em termos de temperatura, os valores extremos ocorrem nos mesmos meses. Janeiro é o mês que regista os valores mínimos mais reduzidos, quer relativamente ao valor da temperatura mínima, quer da máxima, com 5,8°C e 14°C respectivamente. O mesmo ocorre, mas agora em Agosto, relativamente aos valores máximos da temperatura média máxima e da temperatura mínima máxima, com 24,9°C e 15,1°C registados. Temos assim uma amplitude térmica de 8°C para o mês mais frio e de 9,8°C para o mês mais quente.

Relativamente à pluviosidade, o gráfico mostra o típico período de estiagem mediterrânico, ocorrido nos meses de Julho e Agosto. Estes são os meses onde se registam os valores de precipitação mais reduzida, com cerca de 2,8 e 8,8mm. Quanto aos meses mais chuvosos, estes centram-se fundamentalmente de Novembro a Março, com valores que variam dos 107,5mm, registados em Março, até aos 132,1mm registados em Novembro.

6.1.3. Enquadramento Geológico

O concelho de Mafra situa-se em termos morfoestruturais no sector central da Orla Mesocenozóica Ocidental Continental (Fig. 6.3.). Neste concelho ocorrem fundamentalmente formações do Jurássico Superior (Kimmeridgiano) até ao Cretácico Superior (Cenomaniano) (anexo 6.04) pelo que está representado uma parte significativa da estratigrafia da Bacia Lusitaniana (Fig. 6.4.).

A Bacia Lusitaniana, relacionada com a abertura do Atlântico Norte e formada em distensão, por estiramento crustal, evoluiu deste o Triásico Superior até ao Cretácico Inferior (Kullberg, 2000), a que se seguiram alguns eventos regionais magmáticos, no final do Cretácico (Manuppella *et al.*, 2008). Posteriormente, ocorreu uma inversão tectónica em regime compressivo resultante da convergência entre a microplaca ibérica e placa euroasiática, especialmente entre a Ibéria e a placa Núbia (Ribeiro *et al.* 1979; 1990; 1996; Wilson *et al.*, 1989; Rasmussen *et al.*, 1998; Carvalho *et al.*, 2005; Alves *et al.* 2003, 2006; Manuppella *et al.*, 2008).

Inicialmente derivada de um fosso alongado e estreito, de direção NNE- SSO, a Bacia Lusitaniana foi sendo preenchida por sedimentos, durante o Mesozóico. Estes sedimentos depositaram-se sobre o soco varisco do Maciço Hespérico, facto que teve posteriormente reflexos em termos de tectónica, dado o controle estrutural do substrato varisco sobre os sedimentos que preencheram a Bacia Lusitaniana (Manuppella *et al.*, 2008). Aliás, a compartimentação interna da bacia, representada pelos seus 3 sectores (Fig. 6.3.) é também reflexo destas falhas herdadas (Kullberg, 2000).

Os materiais de preenchimento são oriundos do Maciço Hespérico, situado a leste e de uma antiga área continental, situada a oeste, da qual as Berlengas são testemunho. Numa primeira fase, depositaram-se os denominados “Grés de Silves”, seguindo-se as séries predominantemente calcárias do Jurássico Inferior e Médio. Posteriormente ao Jurássico Superior, fase em que a orla se manteve quase sempre emersa, depositaram-se séries predominantemente detriticas, decorrentes de várias fases erosivas ocorridas no Maciço Hespérico,

Como referido anteriormente, no Cretácico Superior (Campaniano, cerca de 80 Ma), um regime tectónico compressivo substituiu o regime extensional, levando ao levantamento generalizado da Península Ibérica. A sucessão de vários episódios tectónicos e de períodos de regressão e de transgressão marinhas é responsável por diversas sequências sedimentares cenozoicas dispostas na Orla Mesocenoica Ocidental, cobrindo parte do registo mesozoico.

Limitado a oeste pela falha que limita o horst das Berlengas e a leste pela Falha Porto-Tomar (Kullberg, 2006), o sector central da Bacia Lusitaniana (Fig. 6.3.) é aquele que importa destacar, dada a localização da área de estudo em Portugal, o concelho de Mafra. Este sector Central situa-se entre a falha da Nazaré, a norte e, a sul, a falha de Montejunto-Arrife (Kullberg, 2006).

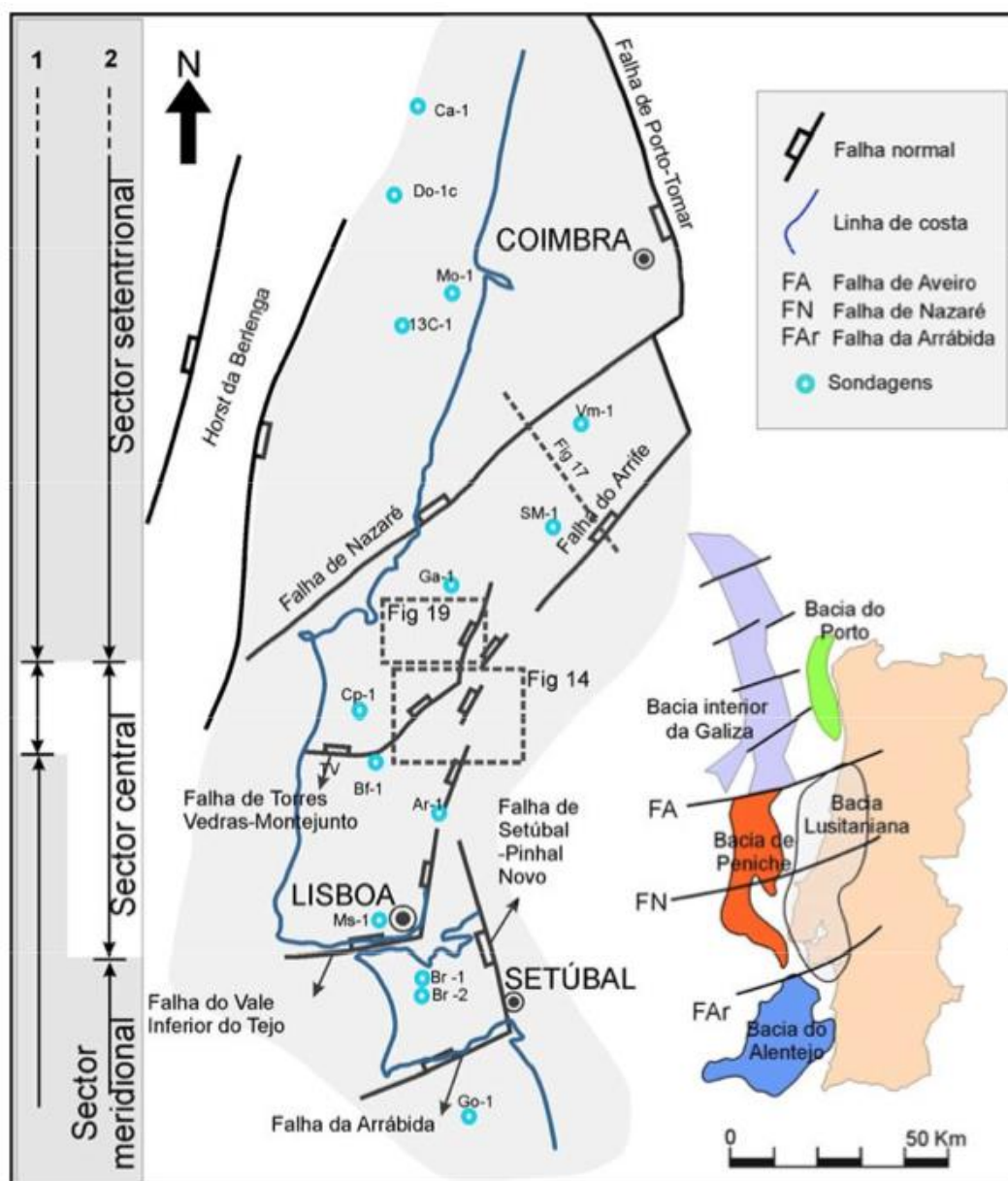


Figura 6.3. – Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana, com definição de sectores (Kullberg, 2006).

Para uma caracterização genérica, subdividimos aqui o concelho de Mafra em três sectores distintos:

- Sector norte, que abrange parte significativa do concelho. Aí ocorre a Formação do Freixial, constituída por arenitos, margas e calcários. Esta formação é recortada por aluviões, nas bacias do rio Safarujo, a Oeste e na bacia da ribeira de Pedrulhos. A NE ocorre a Formação do Sobral, constituída por pelitos, arenitos, margas e calcários. A encimar este último sector, em redor da Serra da Senhora do Socorro, colina do Complexo Vulcânico de Lisboa, ocorrem as Formações de Fonte Grada, de Santa Susana e de Lugar d'Além indiferenciadas, de Caneças, Almargem, Sebreira e de Vale de Lobos, bem como filões de rocha alterada ou não identificada. No sector NO, já com menor expressão em termos de área, encontram-se as Areias e Arenitos de Silveira, bem como depósitos de terraços marinhos;
- Sector centro-oeste, com uma extensão muito significativa, onde se salienta a ocorrência das Formações de Ribamar e de Ribeira de Ilhas, constituídas por calcários, arenitos e por pelitos. Afloram aqui dezenas de filões de rocha alterada ou não identificada, do complexo de diques radiais de Mafra (Gusmão, 2010), com orientações predominantes de NNE-SSO e de NNO - SSE. Ainda com expressão significativa, ocorre a Formação do Regatão, constituída por pelitos e dolomitos. De igual modo afloram aqui filões. A encimar as Formações de Ribamar e de Ribeira de Ilhas, ocorrem as Formações da Praia dos Coxos (calcário e pelitos), Vale de Lobos (arenitos, conglomerados e pelitos), Santa Susana (pelitos e arenitos) e Formação de Porto da Calada, constituída por arenitos, pelitos, calcários e dolomitos. Esta última formação prolonga-se para NE. Em redor da Ericeira encontramos uma pequena área de gabros, bem como areias e cascalheiras de génese indiferenciada. A leste da Ericeira ocorre a Formação do Rodízio, constituída por pelitos, arenitos e conglomerados e a Sul, a Formação de Caneças;
- Sector sul e centro-leste, com larga ocorrência da Formação de Caneças, constituída por calcários e arenitos. A encimar esta última formação, encontram-se as Formações do Rodízio, Ribamar e Ribeira de Ilhas. Neste sector ocorrem várias colinas basálticas, as quais derivam de um importante evento magmático ocorrido há cerca de 100 Ma (Kullberg, 2000), ou seja, o Complexo de Mafra. A leste, ocorrem as Formações do

Freixial, Arranhó (calcários e margas) e Porto da Calada, em parte recortados pelos aluviões da ribeira do Trancão.

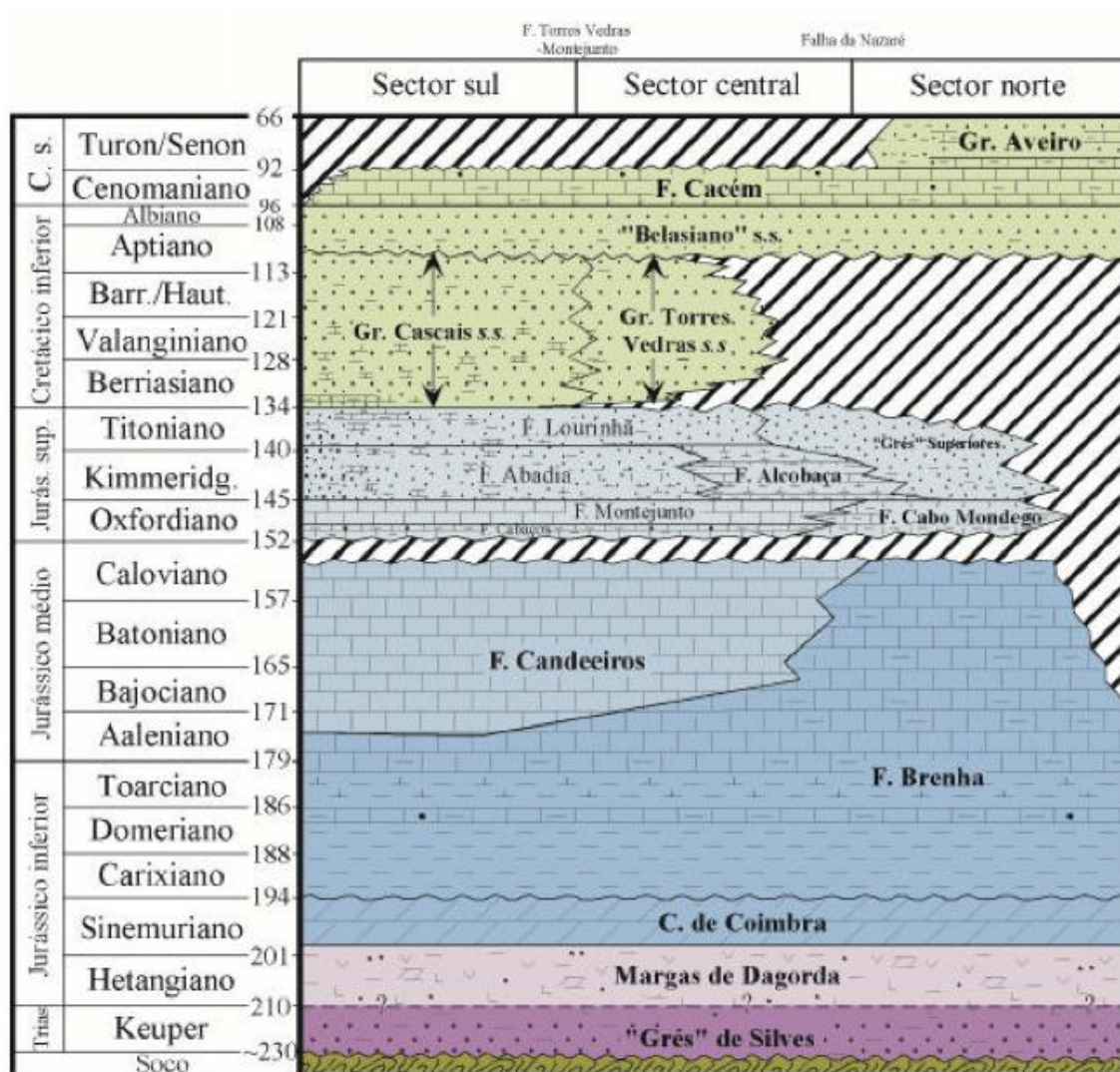


Figura 6.4. – Unidades litoestratigráficas da Bacia Lusitaniana (*in*: Kulberg, 2000 – adaptado de GPEG (1986), Rocha *et al.* (1996), Rasmussen *et al.* (1998) e Rey (1999)).

Naturalmente que não podíamos deixar de salientar a proximidade, a sul, com o Complexo Vulcânico de Lisboa, do qual faz parte a já referenciada colina da Senhora do Socorro, no sector norte do concelho de Mafra e as várias colinas, no sector S - SE deste, de onde se destacam Montemuro e Funchal.

Em termos de falhas, note-se a maior densidade de falhas no sector oeste do concelho, com duas direcções predominantes N - S e NNE - SSO.

De destacar o facto de um reduzido número de litologias representar grande parte da área territorial do concelho de Mafra, ou seja, 78,5% do total é representado pelas seguintes formações:

- Aluviões (6%);
- Formação de Caneças (11,6);
- Formação do Freixial (24%);
- Formação de Porto da Calada (6,5%);
- Formação de Regatão (5,4%);
- Formação de Rodízio (10,2%);
- Formação de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas (14,8%).

6.1.4. Enquadramento geomorfológico

Além da estrutura, a morfologia da região na qual se situa o concelho de Mafra é condicionada pela litologia, facto que se reflecte na paisagem deste sector da Orla Mesocenozóica Ocidental. A dinâmica geomorfológica é fortemente condicionada pela litologia, à qual os diferentes tipos de rocha respondem de modo diferenciado no que concerne à erosão, com evidentes reflexos na paisagem, daí a existência de sectores diferenciados em termos morfológicos (Fig. 6.5.).

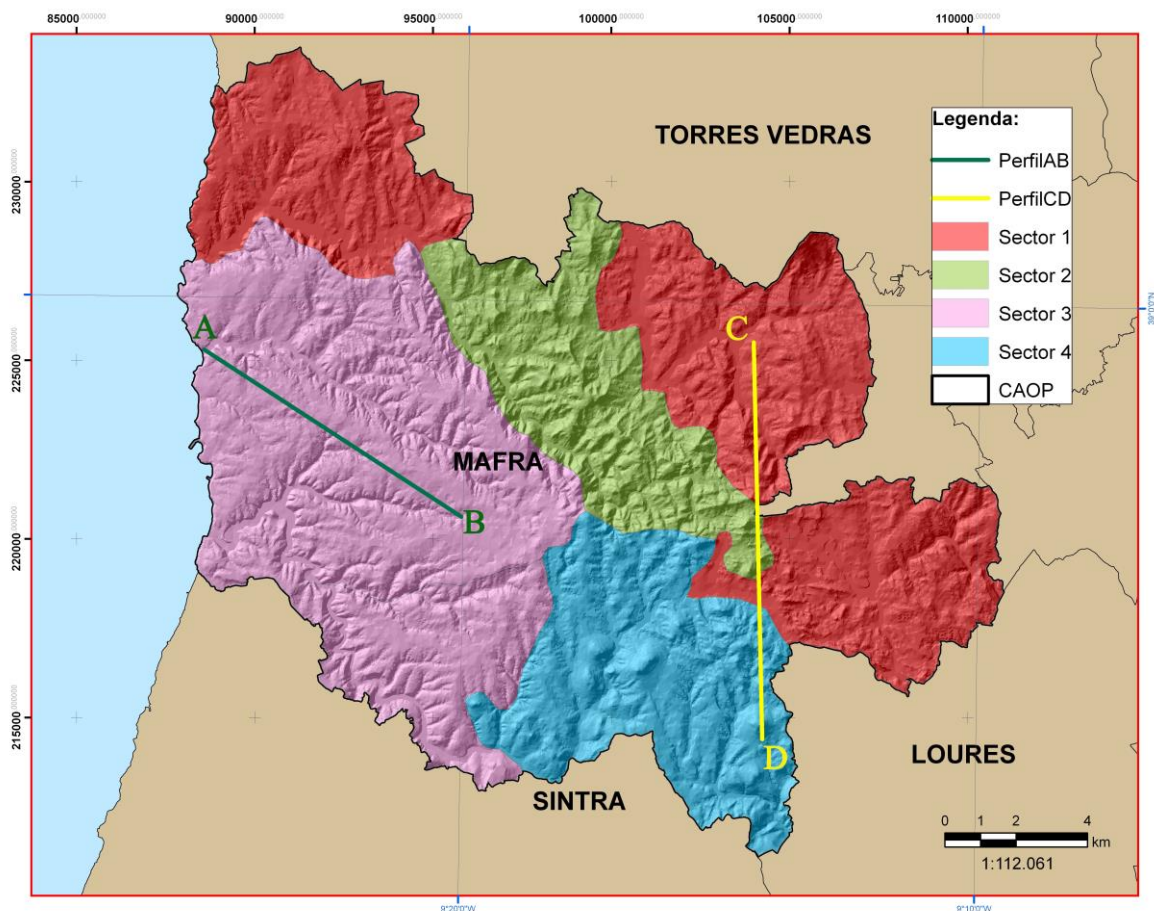


Figura 6.5. – Unidades morfológicas de 3º nível, segundo o método de Ross (1992).

No município de Mafra distinguem-se genericamente 4 sectores diferenciados em termos morfológicos (Fig. 6.5.):

1. **Bordo NO – NE - E:** Desenvolvido nas Formações do Freixial, Sobral e Arranhó, sendo estas recortadas por aluviões. Este sector, desenvolvido em rochas mais brandas, nomeadamente margas, tem cotas que se situam entre os 0 e os 150 metros, sendo que o segmento Este tem cotas na ordem dos 75 a 300 metros. Em termos de declive, caracteriza-se por fundos planos, declive suave a intermédio e topos aplanados, de forma mais representativa na área litoral deste sector (Fig. 6.6.);



Figura 6.6. – Vista sobre sector noroeste do município de Mafra, a partir da serra de Nossa Sr^a do Socorro.

2. **Centro,** com orientação NO - SE: Este sector é o que tem maior grau de dissecação pela rede hidrográfica (Fig. 6.7.), diferenciando-se dos demais. Desenvolve-se fundamentalmente nas Formações do Porto da Calada, Vale de Lobos, de São Lourenço e Santa Susana, da Praia dos Coxos, de Ribamar e de Ribeira de Ilhas, as quais ocupam os interflúvios de todo este sector. A parte norte deste sector é perfeitamente delimitada por duas falhas paralelas. Note-se o predomínio de vertentes de declive intermédio a acentuado, salientando-se a existência de algumas colinas na parte norte deste sector;



Figura 6.7. – Vista sobre os relevos dissecados, localizados a SE de Sobral da Abelheira.

3. **Centro - Oeste:** Neste sector, desenvolvido nas Formações de Ribamar e de Ribeira de Ilhas, de Regatão, do Rodízio, de Cresmim, da Praia dos Coxos e nas Areias e arenitos de

Silveira, bem como nas Massas de Gabro-Diorito, destacam-se fundamentalmente os topos aplanados, recortados pelo Rio Lizandro (Fig. 6.8.) e Safarujo, os quais se desenvolvem em vales de fundo plano com vertentes rectilíneas de declive acentuado. Salienta-se igualmente a extensa plataforma litoral. A análise de um perfil topográfico (Fig. 6.10.) desenvolvido entre Ribeira de Ilhas (Oeste) e Mafra (Centro), mostra a existência de dois patamares de aplanamento, um no sector litoral, à cota 100 metros e outro que se desenvolve para leste, progressivamente com cotas superiores;



Figura 6.8. – Perspectiva sobre um vale de fundo plano, no sector terminal do rio Lizandro.

4. **Sul:** Desenvolvido nas Formações do Rodizio, de Caneças, de Ribamar e de Ribeira de Ilhas e da Bica, a qual encima este sector. Destacam-se ainda os relevos ali salientes, os quais representam colinas basálticas (Fig. 6.9.), elementos geomorfológicos diferenciadores deste sector Sul. É neste sector que se observam as cotas mais elevadas de todo o concelho de Mafra, destacando-se a Atalaia, Montemuro e Funchal, respectivamente com 431, 428 e 426 metros.



Figura 6.9. – Vista sobre os relevos salientes, localizados a sul da vila da Malveira.

O perfil topográfico (Fig. 6.10.) desenvolvido entre Enxara do Bispo (Norte) e Montemuro (Sul) mostra de forma expressiva a morfologia de norte para sul, ou seja de uma área representativa de cotas mínimas, com rochas mais brandas, até a uma área representativa das cotas máximas ali existentes, com rochas mais resistentes. Sendo este sector sul o que tem cotas mais elevadas e, ao mesmo tempo, colinas basálticas, salientam-se os declives acentuados. Na parte ocidental, além dos declives acentuados, observam-se declives intermédios, suaves e até uma área significativa de topos aplanados.

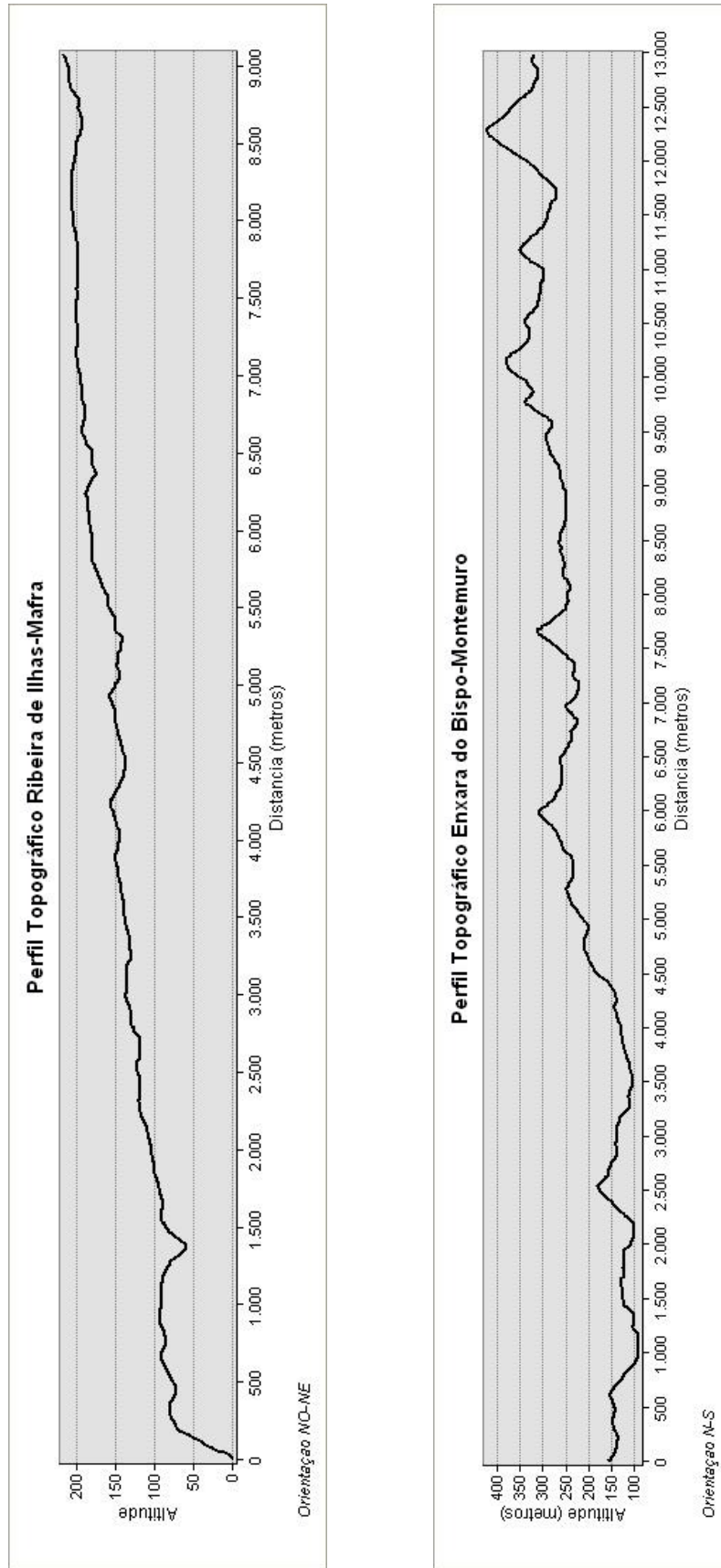


Figura 6.10. – Perfis topográficos de Ribeira de Ilhas-Mafra (corte AB) e de Enxara do Bispo-Montemuro (corte CD) assinalados na figura 6.5.

Enquanto que, genericamente falando, o primeiro perfil topográfico coloca em evidência a existência de fundos planos (11,6% do total da área de estudo) e vertentes com declive médio a elevado (22,5% e 35% respectivamente), já o segundo perfil representa áreas de topo aplanado (15,7% do total) e declives suaves (10,9%) (Fig. 6.11.). Estes valores referem-se às unidades que decorrem da elaboração do mapa geomorfológico para o município de Mafra (anexo 6.01), o qual será descrito no próximo sub-capítulo.

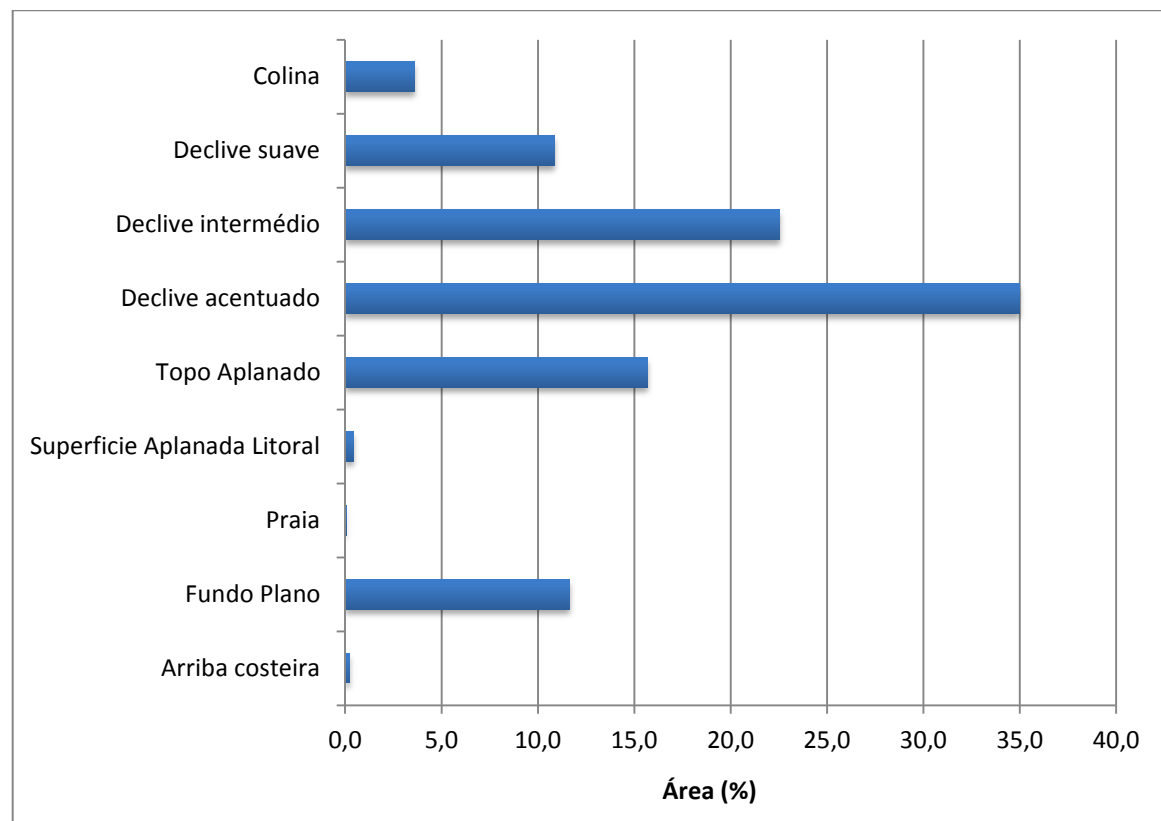


Figura 6.11. – Representação estatística do relevo do município de Mafra, com base nas unidades estabelecidas no mapa geomorfológico (anexo 6.01).

No que concerne à rede hidrográfica do concelho de Mafra (anexo 6.02), esta é estruturada, de norte para sul, pelas bacias do Sizandro, Safarujo e Lizandro, que têm a sua foz a oeste e pela bacia do Trancão, a leste, afluente do Rio Tejo. Além destas últimas, existem ainda outras bacias hidrográficas, já de menor dimensão e importância, caso das bacias hidrográficas de Barcide-Samouca, Cuco, Fonte Boa e outras 5 de dimensão pouco expressiva. O padrão de drenagem observado é de tipo dendrítico.

6.1.4.1. Elaboração do mapa de unidades geomorfológicas

Para a elaboração do mapa geomorfológico (anexo 6.01), referente ao concelho de Mafra, optou-se por previamente se construir um TIN (*triangulated irregular network*), de forma a obter uma representação morfológica útil para a elaboração deste mapa de unidades geomorfológicas. A opção pelo TIN deve-se ao facto deste possibilitar um bom ajuste ao terreno, através da sua representação morfológica superficial em meio digital, pormenor de grande importância quando se pretende desenhar unidades geomorfológicas o mais fidedignas possível. A informação cartográfica derivada do TIN resulta genericamente de uma triangulação de vértices (pontos cotados), os quais estão conectados com uma série de arestas de forma a constituírem-se como uma complexa estrutura de triângulos (Fig. 6.12.). O método de *Delaunay* é o método utilizado para a interpolação dos valores altimétricos, que resulta na criação desta estrutura de triângulos.

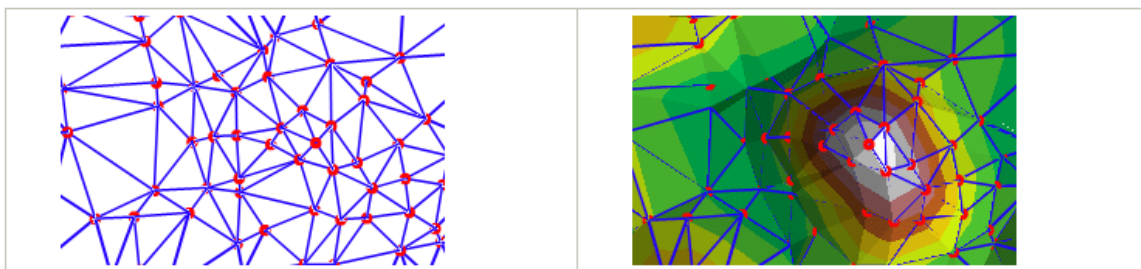


Figura 6.12. – Imagens ilustrativas do processo de criação de um TIN, onde na primeira imagem constam os vértices (pontos) e arestas e na segunda constam os vértices, as arestas e as faces criadas através da interpolação de *Delaunay*. Fonte: ESRI.

Tendo como suporte o *software* ArcGIS.10, e através da função *create TIN*, presente na caixa de ferramentas, mais precisamente no *3D Analyst tools*, deu-se início ao processo que possibilita a criação de um TIN, através do método de triangulação de *Delaunay*. Para isto utilizou-se a cartografia vectorial 1:25 000 relativa às cartas 374, 388, 389, 402 e 403.

Neste processo, utilizaram-se os pontos cotados, com a respectiva informação altimétrica, e as curvas de nível, estas últimas com a opção *softline*, a qual impõe rupturas de declive na transformação da informação. A rede hidrográfica entrou também no processo, através da informação altimétrica, com a opção *hardline*, a qual não impõe rupturas de declive.

Com esta base, foi possível desenhar com boa definição as unidades geomorfológicas. Importa referir que apesar do TIN ter sido a base que possibilitou o desenho das unidades geomorfológicas, serviram também como apoio complementar, as cartas militares respectivas e o

mapa de base relativo aos ortofotomapas desta área. Esta complementaridade revelou-se muito útil, já que além de detectadas algumas ligeiras e pontuais imprecisões na cartografia vectorial, as quais foram corrigidas sempre que detectadas, ocorrem alguns casos em que a análise geomorfológica pode resultar em interpretações menos acertadas, quando baseadas apenas no TIN.

Relativamente às unidades geomorfológicas e sabendo que um dos objectivos da metodologia a propor seria também o da comparação entre áreas diferenciadas e a escalas diferenciadas, optou-se por aplicar neste âmbito a proposta de Ross (1992). Esta proposta é baseada nos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, aplicados à taxonomia do relevo (Fig. 6.13.).

Enquanto o conceito teórico de morfoestrutura se relaciona com os processos geradores de relevo endógenos, o conceito de morfoescultura relaciona-se com os processos exógenos, às várias escalas. Segundo Ross (1992), as unidades esculturais são produto não só da acção dos climas actual e passados, bem como reflectem a resistência dos vários tipos litológicos presentes num determinado território. Numa mesma morfoestrutura, ou taxon de nível 1, caso de uma bacia sedimentar, poder-se-ão situar várias unidades esculturais, englobadas no 2º, 3º, 4º, 5º ou 6º taxon.

Esta proposta de Ross (1992) revela-se interessante na medida que ainda não existe um acordo internacional, no que se refere a um sistema de classificação de formas de relevo (Gray, 2004). Através da utilização de um sistema baseado nesta classificação de formas de relevo, tal como Ross (1992) propõe, ter-se-á uma forma genérica de comparar tipos de relevo a escalas diferenciadas, através dos taxons, naturalmente de uma forma não linear, contudo de modo objectivo.

A este propósito importa lembrar Schmidt & Preston (2003), quando estes referem (p. 116): «*large scale systems are not simply larger versions of small scale systems*». Desta forma, e para o caso de Mafra, optou-se por desenhar o mapa geomorfológico na base de unidades geomorfológicas, as quais se situam ao nível do 4º taxon, proposto por Ross (1992). Sobre este taxon, Ross (1992) menciona que este se refere às formas de relevo individualizadas na unidade de padrão de formas semelhantes. Estas podem ser planícies fluviais ou marinhas, terraços fluviais ou marinhos, ou de erosão, bem como colinas, morros e cristas.

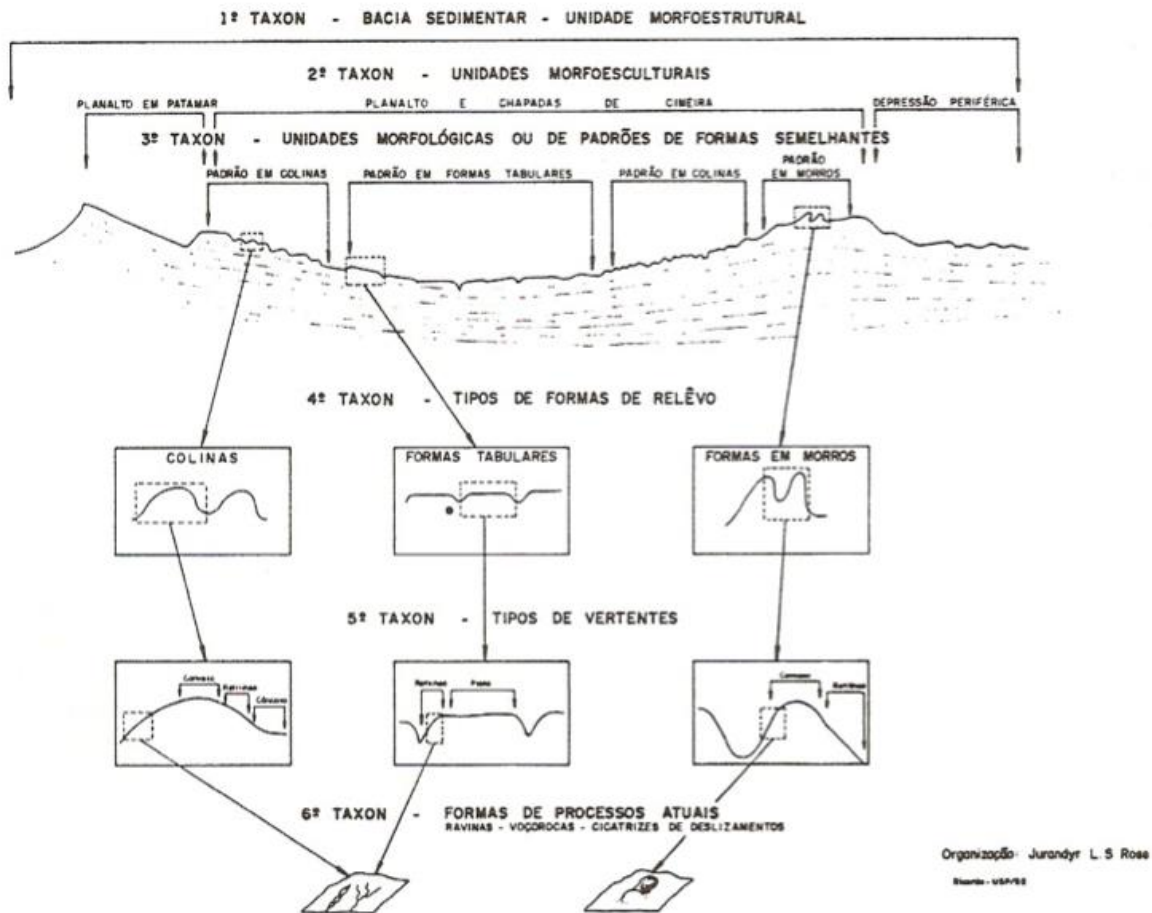


Figura 6.13. – Estruturação das formas de relevo a várias escalas, por taxon (Ross, 1992).

Tendo como base o 4º nível taxonómico, optou-se por, em termos de correcta caracterização do relevo, definir as seguintes categorias para o mapa geomorfológico:

- Arriba costeira;
- Colina;
- Fundo plano;
- Praia;
- Superfície aplanada litoral;
- Topo aplanado;
- Vertente de declive suave (5-10 graus);
- Vertente de declive intermédio (10-25 graus);
- Vertente de declive acentuado (>25 graus).

Importa destacar que estas foram as categorias consideradas para a quantificação da geodiversidade, já que no mapa geomorfológico inicial (anexo 6.01), consideraram-se também as rechãs e as portelas, tendo sido as mesmas aglutinadas na categoria “topo aplanado”. No que se refere às colinas, apesar de inicialmente, no mapa geomorfológico, terem sido consideradas genericamente cerca de 8 tipologias (Fig. 6.14.), estas foram igualmente agrupadas na categoria “colina” no que se refere à quantificação da geodiversidade. Isto tendo em conta que no decorrer do trabalho de campo se julgou mais objectivo considerar as mesmas enquanto uma única unidade geomorfológica.

No que concerne às vertentes, apesar do 4º taxon não considerar as mesmas enquanto unidades por si mesmas, optou-se por fazer um ligeiro ajuste na metodologia. Considerou-se estas num nível intermédio entre o 4º e o 5º níveis, facto considerado mais ajustado à realidade constatada no campo e à escala de trabalho em causa. Sobre o 5º nível, Ross (1992) menciona que este se refere às partes das vertentes ou sectores das vertentes de cada uma das formas de relevo. Quanto aos declives referenciados, os valores enunciados representam uma generalização dos valores médios presentes nas unidades morfológicas.

O grau de pormenor possibilitado pela cartografia possibilita uma análise mais assertiva das características do relevo. Aliás, Ross (1992) refere (p. 20), que a escala 1:25 000, possibilita esta mesma diferenciação assumida neste trabalho, a nível de vertentes.

Refere-se o facto do mapa geomorfológico ter sido desenhado de forma inteiramente manual em ambiente ArcGIS, tarefa que se revelou morosa e algo problemática, dado não só a inexistência de trabalhos com base na metodologia de Ross (1992), efectuados à escala 1:25 000, mas fundamentalmente devido à extensão geográfica do concelho de Mafra, com os seus 291 km². Contudo esta dificuldade revelou-se fundamental para a compreensão do relevo daquela área, algo que o trabalho de gabinete não possibilita por si mesmo.

Este mapa resultou, para o concelho de Mafra, na existência de 2098 polígonos, representativos das várias categorias do mapa geomorfológico.

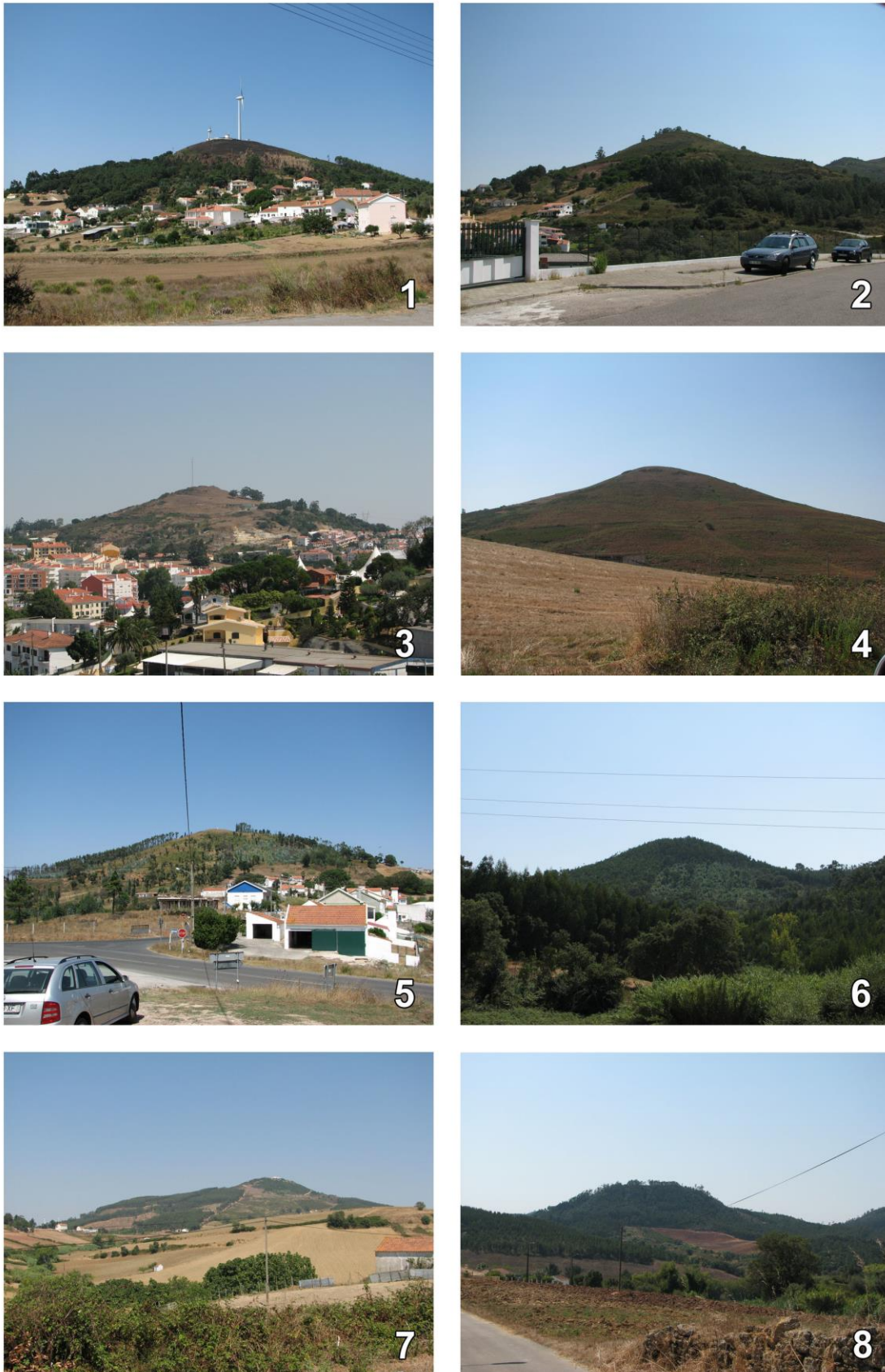


Figura 6.14. – Continuação e legenda nas páginas seguintes.



Figura 6.14. – Continuação e legenda na página seguinte.



Figura 6.14. – Tipologia das categorias consideradas na elaboração do mapa geomorfológico **(1)** Colina Basáltica - Montemuro; **(2)** Colina Vulcânica (indiferenciada) - Monte Leite; **(3)** Colina 3 formações - Matoutinho; **(4)** Colina 5 formações – Cabeço do Cerro; **(5)** Colina 2 formações – Jerumelo; **(6)** Colina sobranceira ao Jerumelo, vista do vale da Guarda; **(7)** Colina vulcânica (complexo de Lisboa) – Sr^a do Socorro, vista à saída de Enxara do Bispo; **(8)** Colina 4 formações – vista de perto do lugar do Livramento; **(9)** Colina 6 formações – vértice geodésico “Roma”; **(10)** Arriba costeira – vista da praia do Barril; **(11)** Colina vulcânica (brecha) – parcialmente desmontada pela acção do mar; **(12)** Praia – Praia S. Lourenço); **(13)** Superfície aplanada litoral – vista do Miradouro de Ribeira de Ilhas; **(14)** vertente declive intermédio – vista Lizandro; **(15)** vertente declive acentuado – vista Lizandro; **(16)** fundo plano – vista do miradouro do lugar da Baleia; **(17)** Topo aplanado (Portela) – vista da Quinta das Pegas (Monte Leite); **(18)** Topo aplanado (Rechã) - vista da Quinta das Pegas (Monte Leite); **(19)** Topo aplanado – vista sobre Ribamar.

6.1.5. Caracterização pedológica

A caracterização dos solos do município de Mafra baseia-se na cartografia disponibilizada pela Câmara Municipal de Mafra. Depois de reclassificada de acordo com a Notícia Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo, com vista à exclusão das Fases utilizadas na Carta dos Solos de Portugal (agropédica; delgada; espessa; mal drenada; inundável;

pedregosa), obteve-se a cartografia final, e respectiva tabela de atributos, adequada aos objectivos deste trabalho.

Das 94 classes de solo presentes na área relativa ao concelho de Mafra (anexos 6.03 e 6.03B), destacam-se 8, as quais representam cerca de 58,9% da área abrangida pelos vários tipos de solo:

- **Lpt** - Solos Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados, Normais, pardos de arenitos finos e grosseiros inter-estratificados (12,5%);
- **Pato** - Solos Argiluiados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos (10,6%);
- **Pcsd** - Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas e calcários compactos inter-estratificados (8%);
- **Vato** - Solos Argiluiados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de arenitos finos, argilas ou argilitos (de textura franco-argilosa a argilosa), (7%);
- **Pcst** - Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico Normais, de margas e arenitos finos inter-estratificados (6,4%);
- **Vcst** - Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de margas e arenitos inter-estratificados (6,2%);
- **Vt** - Litólicos, Não Húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros (4,4%);
- **Vto** - Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, avermelhados, de arenitos finos micáceos (de textura franco-arenosa a franca), (3,8%).

As restantes classes apresentam individualmente valores residuais que, à parte das 8 classes acima enunciadas, raramente ultrapassam 1% do total da área afectada aos solos presentes na área de estudo.

A distribuição e a concentração de tipos de solo num reduzido número de classes seria, à partida, expectável dado o contexto litológico do município de Mafra.

6.2. Município de Morro do Chapéu - Brasil

6.2.1 Enquadramento geográfico

O município de Morro do Chapéu, que representa a segunda área de estudo, localiza-se no centro do Estado da Bahia, no Brasil (Fig. 6.15.). Este município tem uma área de 5920km² e é limitado pelos municípios de Sergipe, Pernambuco e Piauí, a norte, por Tocantins, Distrito Federal e Goiás, a oeste, e por Minas Gerais e Espírito Santo, a sul.

Os censos realizados em 2010, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontam para uma população de 37496 habitantes.



Figura 6.15. – Mapa de enquadramento do Município de Morro do Chapéu na América do Sul.

6.2.2. Características gerais do clima

Representando o município de Morro do Chapéu um território com uma vasta área, este facto revela-se como condicionante em termos de análise climática, não por esta mesma extensão territorial, mas sim devido à concentração dos dados apenas numa estação meteorológica. Este ponto é destacado por Rocha & Costa (1995), quando estes se referem à existência de uma estação meteorológica de primeira categoria, precisamente na sede do município. Apesar desta condicionante, e tendo em conta os objectivos deste trabalho, que passa por uma breve caracterização climática, a análise não se configura como redutora.

Tendo em conta a particularidade do relevo desta região ocorrer em formas tabulares, dispostas por patamares com altitudes que variam entre os 400 e os 1200 metros (Rocha & Costa, 1995), o zonamento climático é ali bem evidente. Estes mesmos tipos climáticos têm influência muito relevante nos processos de meteorização que ali ocorrem (Lobão *et al.*, 2011).

Centrando a análise nos dados da estação meteorológica de Morro do Chapéu, para a normal climatológica de 1961-1990 (Fig. 6.16.), destaca-se, na temperatura máxima média mensal, uma reduzida amplitude térmica, sendo esta de apenas 4,5°C. Esta varia dos 22,1°C, em Junho, até aos 26,6°C, ocorridos nos primeiros três meses.

Relativamente à temperatura mínima média mensal, esta varia dos 13,8°C, ocorridos em Julho e Agosto, até aos 17,4°C de Março. Temos assim um regime climático baseado em reduzidas amplitudes térmicas.

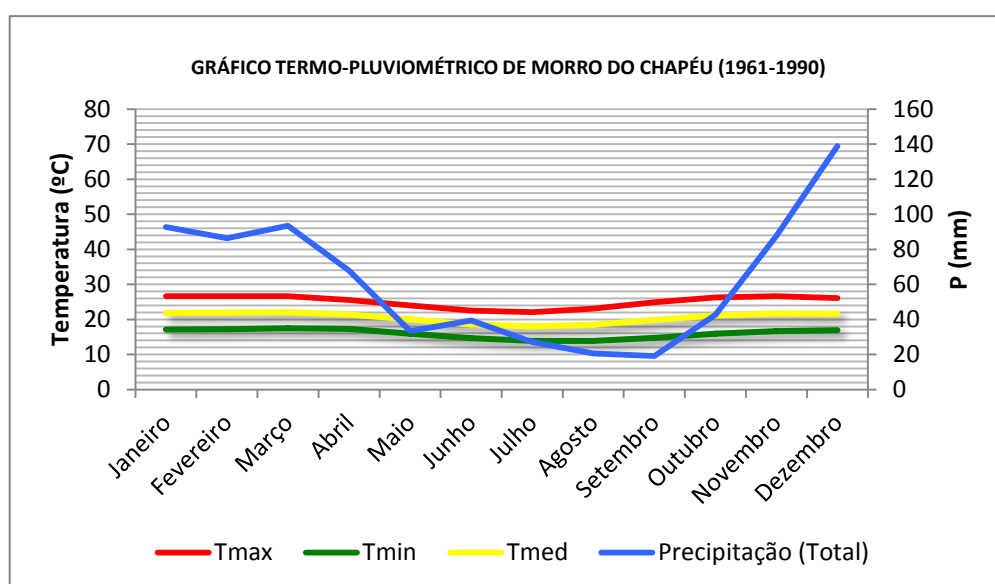


Figura 6.16. – Gráfico termo-pluviométrico de Morro do Chapéu. Fonte: DNMET.

Relativamente ao regime de pluviosidade ocorrido, destaca-se um período chuvoso, que ocorre sensivelmente de Novembro até Abril, e um marcado período de menor pluviosidade, centrado entre Maio e Outubro. O mês que ocorre maior pluviosidade é Dezembro, com 138,9mm e o mês de menor pluviosidade é Setembro, com apenas 19mm. Rocha & Costa (1995) referem o facto da pluviosidade se concentrar em períodos muito pequenos, de que é exemplo o registo de cerca de 124,8mm de precipitação em 24 horas, valor superior à maior parte das médias mensais registadas.

Embora igualmente limitados pela pouca disponibilidade de dados, numa perspectiva regional, Rocha & Costa (1995) descrevem os tipos climáticos, segundo Koppen, para o município de Morro do Chapéu. Para todo o sector Oeste, é referido o tipo de clima BSh – Semi-árido Quente, tal como para o bordo SO deste. No sector central, predomina o tipo climático Cwb – Tropical de altitude com verão brando. Em redor deste sector central, e acompanhando a diminuição de altitude, predomina o clima de tipo Cwa – Tropical de altitude com verão quente. Por último, e no sector Este de Morro do Chapéu, predomina o clima de tipo Aw – Tropical Sub-húmido.

6.2.3. Enquadramento geológico

O município de Morro do Chapéu (anexo 6.09) situa-se numa bacia sedimentar que se formou e sobrepôs a uma superfície antiga, constituída por granito e gnaisse. Esta bacia sedimentar, de tipo flexural (Filho & Melo, 1990), é constituída por duas coberturas cratónicas, o Grupo Chapada Diamantina, do Meso-proterozoico, e o Grupo Una, do Neo-proterozoico (Sampaio, 1998).

O Grupo Chapada Diamantina é constituído pelas Formações Tombador, na base, Caboclo e, no topo, pela Formação de Morro do Chapéu. O Grupo Una é constituído pela Formação Bebedouro e pela Formação Salitre (Rocha, 1997).

Derivada da evolução geomorfológica, formaram-se nesta região unidades cenozóicas sedimentares (Rocha & Costa, 1995) (Fig. 6.17. e Fig. 6.18.).

No início do Proterozoico médio, teve início a deposição de cascalhos, areias, argilas e calcários que constituem o Grupo Chapada Diamantina. O final deste processo de deposição deu-se há 950 Ma (Rocha & Costa, 1995). A unidade basal deste grupo, a Formação Tombador, é constituída por materiais que são originários da região da Serra de Jacobina, a NE de Morro do Chapéu (Filho & Melo, 1990). São os cascalhos consolidados que estão na base da Formação Tombador, constituindo a associação de litofácies conglomerado/arenito (Rocha & Costa, 1995).

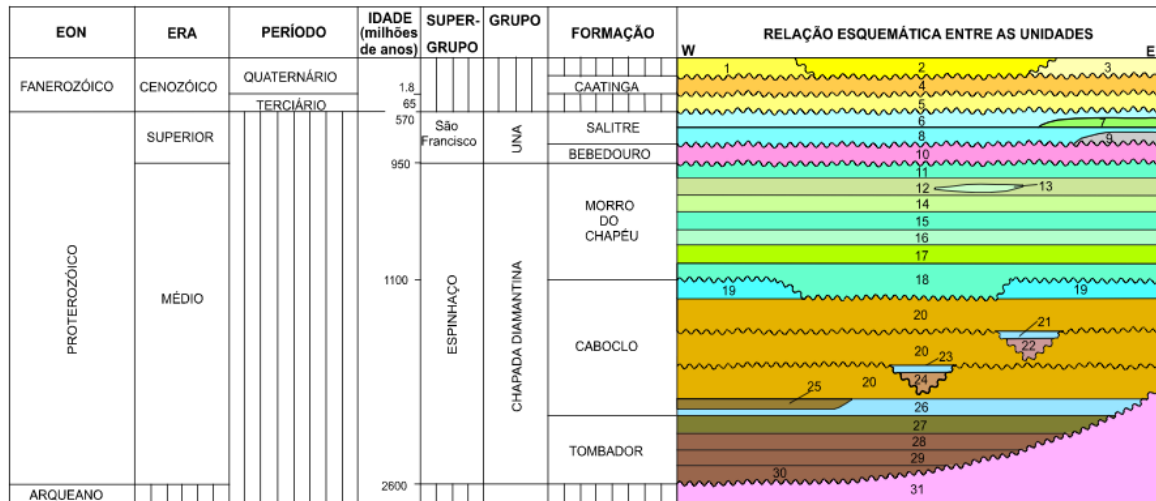


Figura 6.17. – Unidades proterozoicas que ocorrem na região de Morro do Chapéu (Rocha & Costa, 1995).

A Formação Caboclo representa uma sedimentação marinha, a qual é derivada de vários episódios de alteração do nível médio do mar, onde, num episódio transgressivo que inundou a planície aluvial, se depositou a associação calcário silicificado, (26), siltito e argilito/arenito (Rocha & Costa, 1995). Após um abaixamento do nível do mar e consequente aprofundamento da rede hidrográfica, depositaram-se os arenitos conglomeráticos, seguindo-se as associações calcário silicificado, argilito/arenito, arenito conglomerático, calcário silicificado e, por último argilito/arenito. Após um novo abaixamento do nível médio do mar, depositaram-se os calcários (19) da Formação Caboclo.

Finalizada a deposição desta formação, deu-se início à deposição das rochas da Formação Morro do Chapéu, a qual decorreu inicialmente derivado de um significativo abaixamento do nível médio do mar, a que se seguiu uma subida do nível médio do mar, facto que levou a um preenchimento, por sedimentos, de vales até então escavados pela acção da erosão na Formação Caboclo (Rocha & Costa, 1995). A associação de litofácies conglomerado/arenito conglomerático (18) é a base da Formação Morro do Chapéu, a que se sobrepuseram a associação de litofácies argilito/siltito/arenito e arenito vermelho. Após outros episódios de regressão e transgressão marinhas, depositaram-se as litofácies conglomerado/arenito conglomerático, arenito feldspático e conglomerado/arenito conglomerático (11), esta última topo da Formação Morro do Chapéu.

Rocha (1997) refere que, finalizada esta deposição, ocorreu um evento glacial, de âmbito continental, no início do Proterozoico superior, facto que levou à deposição da Formação Bebedouro, do Grupo Una, constituída por conglomerado-arenito-argilito. Posteriormente, e tendo já evoluído para um clima semi-árido, deu-se o degelo das extensas áreas ocupadas por gelo e

neve, facto que, genericamente, levou a uma subida do nível do mar. Estes factos favoreceram a deposição das unidades carbonáticas da Formação Salitre (Rocha, 1997).

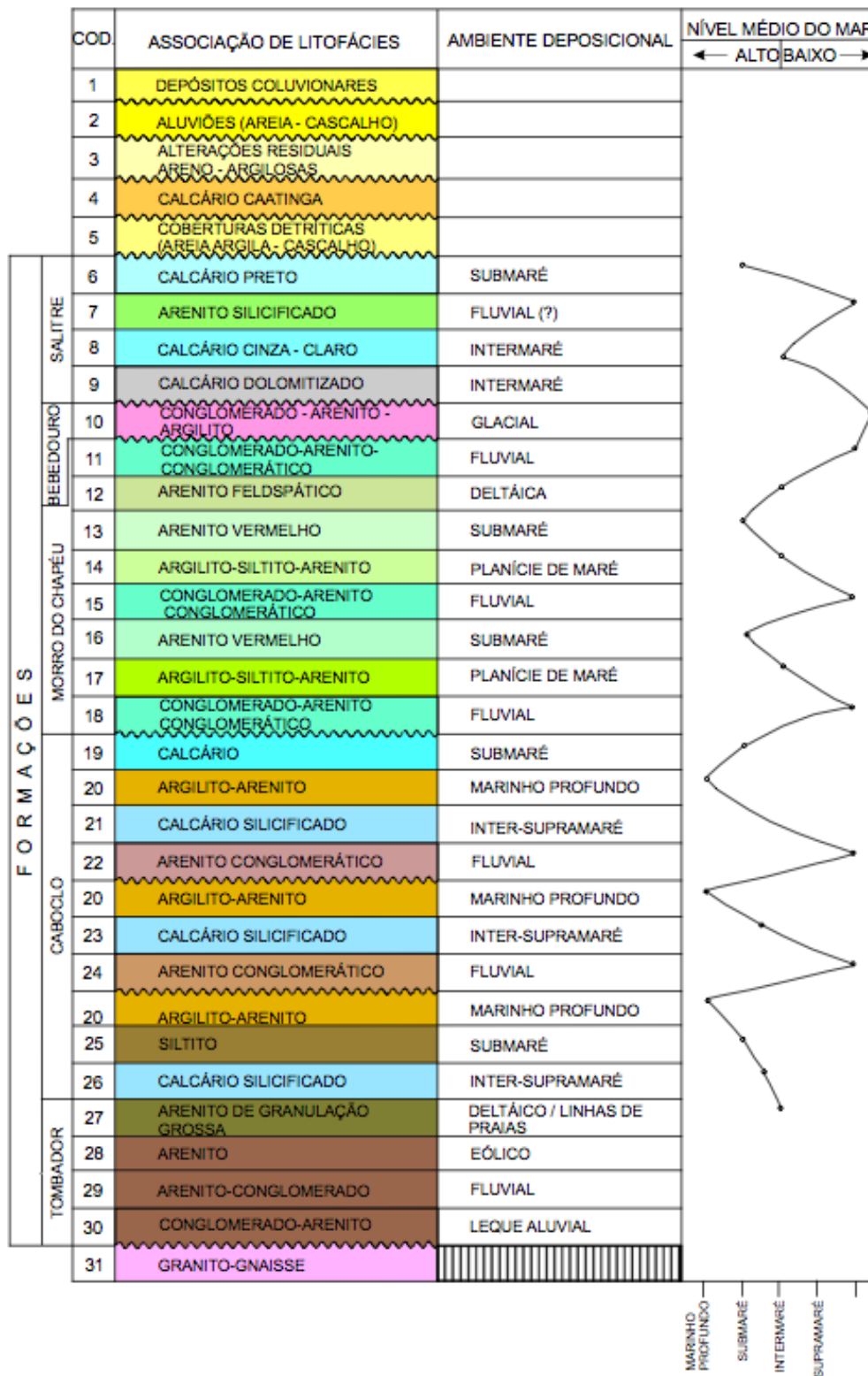


Figura 6.18. – Detalhe das associações de fácies e ambientes deposicionais das unidades proterozoicas que ocorrem em Morro do Chapéu (Rocha & Costa, 1995).

A Formação Salitre é constituída por calcários laminados de cor cinza-clara, bege e rosa (8), na base, e por calcário preto, arenito silicificado e calcário dolomitizado.

No Cenozóico destacam-se as coberturas detríticas (5), o calcário catinga (4) que resultou da dissolução dos calcários da Formação Salitre, as alterações residuais (3), as aluviões (2) e os depósitos coluvionares (1) (Rocha & Costa, 1995).

Para uma caracterização genérica, subdividimos aqui o concelho de Morro do Chapéu em cinco sectores:

- **Sector N-NO** – Extensa área de calcário cinza claro. No bordo N, pequena área de coberturas detríticas (areia argila-cascalho) e de arenito feldspático. A SE dos calcários cinza claro, ocorrem novamente as coberturas detríticas e o arenito feldspático, bem como conglomerado-arenito-argilito e calcário dolomitizado;
- **Sector Oeste** – Ocorre extensa área de calcário preto, além de arenito silicificado, calcário cinza claro, conglomerado-arenito-argilito e arenito feldspático. De referir igualmente a ocorrência de argilito-siltito-arenito, arenito vermelho, argilito-siltito-arenito e calcário silicificado;
- **Sector central** – Extensa área de arenito vermelho, arenito feldspático, calcário cinza claro, coberturas detríticas (areia argila-cascalho) e argilito-arenito. Ocorrem ainda, em pequenas áreas, o conglomerado-arenito conglomerático, conglomerado-arenito-argilito, arenito vermelho, argilito-siltito-arenito, calcário e alterações residuais areno-argilosas;
- **Sector Sul** – Ocorrência de pequenas áreas de depósitos coluvionares, calcário silicificado e arenito conglomerático. Extensas áreas de arenito vermelho, argilito-arenito, aluviões (areias-cascalho), coberturas detríticas, calcário silicificado, siltito e alterações residuais areno-argilosas;
- **Sector SE** – Extensas áreas de calcário silicificado, coberturas detríticas, arenito de granulação grossa, arenito-conglomerado, conglomerado-arenito e, numa pequena área, os aluviões.

No que concerne à ocorrência de falhas (anexo 6.09), esta é substantiva no sector central de Morro do Chapéu, tendo estas direcções predominantemente N-S, NO-SE e ONO-ESE. No sector

centro-oeste, predominam as orientações N-S e NO-SE. Nos restantes sectores é diminuta a existência de falhas.

Por último, refere-se o facto de, num conjunto de 27 unidades litológicas (Fig. 6.18.), cerca de 60,5% do total da área do Município de Morro do Chapéu estar concentrada nas seguintes unidades:

- Alterações residuais (14,8%);
- Arenitos sigmoidais com estratificações cruzadas acaneladas e *tidal bundle* (14,8%);
- Calcissiltitos com estratificação plano-paralela e ondulada (13,7%);
- Coberturas detríticas (5,6%);
- Lamitos e arenitos interestratificados (11,6%).

Os restantes 39.5% do total desta área, dividem-se por 22 unidades, de forma residual.

6.2.4. Enquadramento geomorfológico

Baseado fundamentalmente na análise do documento “Projecto Mapas Municipais – Município de Morro do Chapéu” (Rocha & Costa, 1995), e complementada com três dias de saída de campo, procede-se à análise geomorfológica da área do município de Morro do Chapéu.

Em termos topográficos, a área com cotas mais elevadas localiza-se precisamente na envolvência da sede deste município, na cidade de Morro do Chapéu. É neste sector, mais elevado, que se situam as Serras Pé do Morro, Estreito, Martim Afonso e Cláudio, com cotas situadas entre os 1100 e os 1280 metros. A primeira destas serras é talhada nos arenitos vermelhos, enquanto que a serra do Estreito é talhada nos arenitos feldspáticos da, Formação Bebedouro, e nos arenitos vermelhos, da Formação de Morro do Chapéu. As serras de Martim Afonso e do Cláudio são constituídas por calcários silicificados da Formação de Morro do Chapéu. Estas mesmas serras são denominadas por Rocha (1997) como montes testemunho, dada a sua resistência aos processos erosivos que afectaram este planalto.

As altitudes decrescem para leste e para oeste. No sector oeste, na Chapada de Ouricuri, as altitudes situam-se entre os 640 e os 800 metros. No sector N-NO, na Baixada do Rio Jacaré, estas situam-se entre os 400 e os 800 metros. Já nos sectores leste e sul, as altitudes situam-se genericamente entre os 500 e os 800 metros.

Este município é drenado fundamentalmente por duas grandes bacias hidrográficas, a norte, a bacia hidrográfica do rio São Francisco, enquanto que a sul é a do rio Paraguaçu. No seu bordo leste, uma pequena área é drenada pela bacia hidrográfica do rio Itapicuru (anexo 6.08). O conjunto de serras situadas no sector centro deste município, representa o divisor de águas de bacias hidrográficas de menor ordem, referentes aos rios Jacaré, Salitre, Jacuípe e Utinga (Lobão *et al.*, 2011)

Rocha & Costa (1995) subdividem a área representada por este município em 15 unidades geomorfológicas (anexo 6.05), as quais agora se descrevem de forma sucinta:

1 – Unidade “**Baixada do Rio Jacaré**”, desenvolvida fundamentalmente nos calcários cinza claro. Em termos de relevo, caracteriza-se por declives suaves e reduzida dissecação do relevo. No sector leste, ocorrem formações superficiais, geralmente de origem alóctone, sobre rochas calcárias (Rocha & Costa, 1995). No sector oeste, situam-se os vales desenvolvidos em superfícies cársicas, com fundo plano e vertentes com declive médio a acentuado. A sul, localizam-se algumas colinas, morros e escarpas calcárias com declive até 25%. No sector norte, localiza-se a serra do Baptista, com uma altitude na ordem dos 1040 metros.

2 – Unidade “**Encosta Ocidental**”, desenvolvida, de norte para sul, em várias litologias, nomeadamente conglomerado-arenito conglomerático, arenito feldspático, coberturas detriticas (areia argila-cascalho) e conglomerado-arenito-argilito. De norte para sul, encontram-se áreas aplanadas, recortadas, a sul, por vales de fundo plano, com vertentes convexas e declive até 30%. No sector centro-norte, talhadas nos conglomerados-arenito-argilitos, ocorrem vertentes com declive superior a 45%. Nos arenitos vermelhos do sector centro observa-se um declive semelhante, bem como no sector sul, na transição entre o conglomerado-arenito-argilito, o arenito feldspático, o arenito vermelho e o argilito-siltito-arenito. Toda esta área é drenada por pequenos cursos de água, os quais afluem para oeste, para o rio Jacaré ou vereda do Romão Gramacho.

3 – Unidade “**Tabuleiro Rampeado**”, desenvolvida fundamentalmente em arenito vermelho e em arenito feldspático. Situada a norte de Morro do Chapéu, esta unidade é constituída por extensas áreas de declive suave com dissecação pouco significativa do relevo. O curso de água mais importante desta unidade é o riacho Orlando, que flui para norte. Existem igualmente áreas com

declive acentuado, até 45%, as quais se desenvolvem nos arenitos feldspáticos e, já com declive inferior (30%) nos arenitos vermelhos. Esta unidade é drenada por alguns afluentes do rio Salitre.

4 – Unidade “**Pedimentos do Rio Salitre**”, situada a leste do “Tabuleiro Rampeado”. Predomina o arenito vermelho e o arenito feldspático. Ocorrem extensas áreas aplanadas, com presença de formações superficiais espessas e superficiais profundas (Rocha & Costa, 1995). Ocorrem igualmente vales de fundo plano, com vertentes de declive intermédio, os quais são drenados pelo rio Salitre e riachos Vereda e Vereda de Covão.

5 – Unidade “**Baixada do Rio Salitre**”. A litologia dominante é a dos calcários cinza claro, na qual se desenvolveu uma extensa área aplanada, com drenagem pouco significativa e com formações superficiais resultantes da alteração das rochas calcárias. No sector NO desta unidade, situam-se algumas colinas e morros, na bordadura onde se situam os conglomerados-arenito-argilitos. Rocha & Costa (1995) referem a existência de dolinas.

6 – Unidade “**Tabuleiro de Flores**”, na qual predominam as coberturas detríticas, onde se localizam várias lagoas, e, em menor extensão, os conglomerados-arenito-argilito. Possui uma extensa área aplanada, levemente dissecada, com algumas formações superficiais profundas e rasas (Rocha & Costa, 1995). No sector norte desta unidade, situa-se um vale de fundo plano, com vertentes convexas e declive até 30%.

7 – Unidade “**Superfície serrana**”, a qual se desenvolveu nos arenitos vermelhos, nos arenitos-siltito-arenito, calcários silicificados, arenitos feldspáticos e nos conglomerados-arenito conglomerático. É nesta unidade geomorfológica que estão situadas as Serras do Estreito, Isabel Dias e Candéal, facto que a diferencia das outras unidades geomorfológicas, predominantemente planas ou com declives suaves. Na transição (O-E) entre os calcários silicificados, os argilitos-siltito-arenito e os arenitos vermelhos, ocorrem declives superiores a 45%. Por seu lado, nos arenitos vermelhos ocorrem declives situados entre os 10 e os 45%. No sector leste, destacam-se os vales de fundo plano, com vertentes convexas e declives que variam entre os 8 e os 30%.

8 – Unidade “**Plano do Morro do Chapéu**”, situada ainda no domínio serrano. Rocha (1997) refere que “os patamares do planalto do Morro do Chapéu (Fig. 6.19.) são resultantes de um modelado

de dissecação estrutural, desenvolvido sobre litotipos das formações Tombador, Caboclo, Morro do Chapéu e Bebedouro. As formas de dissecação, que geraram relevos com topo plano, entalhados por vales, são controladas pelas litologias e pelas estruturas geológicas”.

Predominam ali várias litologias, nomeadamente arenito vermelho, intensamente fracturado, coberturas detriticas (areia argila-cascalho), calcário silicificado, argilito-arenito e coberturas detriticas (areia argila-cascalho). É no bordo SO que se situam as serras do Cláudio, Pé de Morro e Coroa, facto que se reflecte em declives acentuados, nos arenitos da Formação de Morro do Chapéu, embora no sector oeste.

Por seu lado, no sector leste, situado a cotas inferiores, localizam-se as áreas com declive suave a plano, com coberturas detriticas.

Esta unidade é drenada pelos rios Jacuípe, da Barra e do Ferro Doido.



Figura 6.19. – Planalto de Morro do Chapéu, visto da Unidade Vão dos Córregos, localizada a Sul da Unidade Plano do Morro do Chapéu.

9 – Unidade “**Vale do Rio do Ferro Doido**”, drenada pelos rios Ventura, Preto e riacho dos Pojos, que fluem para norte, atravessando várias litologias, caso do arenito grosseiro, argilito-arenito, os calcários silicificados e as coberturas detriticas. De destacar as planícies fluviais, situadas no sector ocidental, no qual se desenvolvem vales de fundo plano, com vertentes convexas e declives entre os 8 e os 30%. O sector com declives mais acentuados, situa-se a norte, na transição entre o arenito, arenito-conglomerado, conglomerado-arenito e os calcários silicificados, onde ocorrem declives superiores a 45%. No sector sul, os declives são menos acentuados, ocorrendo extensas áreas aplanadas, nomeadamente nas áreas que compreendem as coberturas detriticas.

10 – Unidade “**Patamar dissecado de Dias Coelho**”, desenvolvida fundamentalmente em granito-gnaiss e nas coberturas detriticas, constituídas por areia, argila e cascalho. O contacto desta unidade com o Vale do Rio do Ferro Doido faz-se através de uma extensa faixa, de sentido norte-

sul, que representa a escarpa do Tombador (Fig. 6.20.). Os dois principais rios, que drenam esta unidade, rio Jacuípe e rio dos Quatis, fluem para leste. É no sector norte que se situa uma extensa planície fluvial, com altitude entre 480 e 560 metros, resultante de inundações periódicas devidas ao caudal do rio Jacuípe (Rocha & Costa, 1995).

É de salientar que parte significativa desta unidade é constituída por vales de fundo plano, com vertentes convexas e declive suave a intermédio. No sector sul, predominam os aplanamentos, especialmente nas áreas com formações superficiais (areia, argila-cascalho).



Figura 6.20. – Vista sobre a escarpa do Tombador, a partir da estrada BR 324.

11 – Unidade “**Vão dos Córregos**”, a qual se localiza no sector sul do município de Morro do Chapéu. Esta desenvolve-se, a norte, nas alterações residuais areno-argilosas e nos argilitos-arenitos. A sul, e além destas duas litologias, incluem-se também os arenitos conglomeráticos, arenito vermelho, calcário silicificado e depósitos coluvionares.

No sector norte, destacam-se as áreas aplanadas ou de declive suave (Fig. 6.19.), instaladas nas coberturas residuais e recortadas por vales de fundo plano, com vertentes convexas e de declive até 30%. As linhas de água desenvolvidas neste sector, estão instaladas em linhas de fractura, as

quais estão bem expressas no relevo. No sector sul, as linhas de fractura continuam a ter importante papel no estabelecimento dos vários cursos de água que drenam aquela área. Em termos de relevo, este é aplanado ou com declives suaves a bordejar os vales em V e/ou com fundo plano (Rocha & Costa, 1997).

12 – Unidade “**Chapada de Ouricuri**”, desenvolvida maioritariamente em calcário cinza e calcário preto, esta unidade é drenada pelo rio Baixa de Cafarnaum. É no sector oeste desta unidade que se localiza uma faixa que de sentido N-S, onde se localizam dezenas de dolinas, algumas das quais proximais a uma extensa fracturação dos calcários pretos. No sector leste, já no domínio dos calcários cinza, localizam-se duas áreas que contrastam com as áreas aplanadas adjacentes. Uma destas é a norte e a outra no sector centro, caracterizando-se as mesmas pela existência de colinas e morros.

Os vales, de fundo plano, desenvolveram-se no seguimento das várias linhas de falha ali existentes, dando uma característica bem marcada neste sector cársico.

13 – Unidade “**Planalto de Lagoinha**”, a qual se desenvolve nas alterações residuais areno-argilosas e nos siltitos. Representa uma área aplanada, com alguns vales de fundo plano, no sector leste e SO, com vertentes mais declivosas no sector SO e igualmente condicionados pelas linhas de falha. Esta unidade é drenada fundamentalmente pelo rio Baixa do Cristal, ocorrendo a mesma a cotas situadas entre os 900 e os 1000 metros de altitude.

14 – Unidade “**Chapada de Duas Barras**”, localizada no extremo SE do município de Morro do Chapéu e drenada pelo rio das Duas Barras, córrego Lagoa do Capão e riacho Santa Cruz. Desenvolve-se entre as cotas de 560 e 880 metros de altitude e é talhada, fundamentalmente, nos aluviões, nas coberturas detríticas, nos calcários silicificados e nos argilitos-arenitos. Representa uma extensa área aplanada, recortada por vales de fundo plano e com vertentes convexas, de declive médio. Estes vales desenvolvem-se maioritariamente nos argilitos-arenitos.

15 – Unidade “**Planícies Fluviais**”, a qual é constituída por aluviões (areia-cascalho). Em termos espaciais, encontramos esta unidade a Oeste, no domínio da “Encosta Ocidental” e a leste e sul, no domínio do “Vale do Rio do Ferro Doido”, no “Patamar Dissecado de Dias Coelho” e na

“Chapada de Duas Barras”. Resulta fundamentalmente da acumulação fluvial em áreas sujeitas a inundações periódicas (Rocha & Costa, 1995).

6.2.5. Caracterização pedológica

A caracterização dos solos do município de Morro do Chapéu baseia-se na cartografia que decorreu do “Projeto Mapas Municipais – Município de Morro do Chapéu (BA)”. Este facto está de alguma forma condicionado, já que esta cartografia se relaciona ainda com o primeiro sistema de classificação de solos brasileiro. Actualmente este sistema de classificação de solos já vai na sua terceira versão, a qual ocorreu em 2013, enquanto que a segunda data de 2006. Esta questão, dos sistemas de classificação de solos, será detalhada no próximo subcapítulo.

Rocha & Costa (1995) referem que a caracterização feita a nível de solos, se relaciona ao nível de reconhecimento com as unidades de mapeamento constituídas por associações de solos e, em alguns casos, com unidades simples. Tendo em conta os objectivos deste trabalho, considera-se válida uma caracterização genérica feita com base nesta cartografia. Assim, o município de Morro do Chapéu divide-se em 3 sectores diferenciados entre si:

- **Sector Noroeste** – constituído pelas classes, ou Ordens, dos Neossolos e dos Cambissolos. Corresponde genericamente à área onde predomina o calcário cinza claro e o calcário preto;
- **Sector Centro** – Neossolos, Latossolos e dos Cambissolos. Corresponde à área ocupada por arenito feldspático e vermelho e pelo conglomerado-arenito-conglomerático;
- **Sector Centro-Sul** – constituído pelas classes dos Latossolos e Argissolos. Sector mais diversificado do ponto de vista litológico, constituído por argilito-arenito, alterações residuais areno-argilosas, siltito, arenito conglomerático, aluviões, coberturas detríticas, calcário silicificado e granito-gnaisse. A diversidade litológica que ocorre neste sector, reflecte-se na maior pedodiversidade do mesmo.

A comparação do mapa de solos (anexo 6.07) com o mapa geológico (anexo 6.09) coloca em evidência esta diferenciação, a qual, descendo o nível hierárquico, se consegue discernir em maior detalhe. Isto apesar de em algumas áreas a caracterização incidir, não enquanto unidades individuais, mas sim enquanto unidade de associação de solos.

Das 21 unidades de solo (anexo 6.07B), seja elas individuais ou na forma de associação de solos, cerca de 8 abarcam 67,4% da área do município de Morro do Chapéu:

- **AQa** – Associação de solos - Areia Quartzosa álica A moderado + Areia Quartzosa Latossólica álica A moderado + Solos Litólicos álicos A fraco textura arenosa e arenosa cascalhenta substrato arenito fase pedregosa (7,6%);
- **Ce1** - Cambissolo eutrófico Tb profundo e pouco profundo A fraco e moderado textura média e argilosa (9,5%);
- **LVa 8/9** Associação de solos- Latossolo Vermelho-Amarelo álico A moderado e proeminente textura média leve + Areia Quartzosa álica A moderado e fraco + areia Quartzosa Latossólica álica A moderado e fraco (6,9%);
- **LVa 3/4/5** – Associação de solos - Latossolo Vermelho-Amarelo álico A proeminente textura média, argilosa e muito argilosa + Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico álico A proeminente textura média, média/argilosa e média/muito argilosa (8,7%);
- **PVa 1/2** – Associação de solos - Podzólico Vermelho-Amarelo álico e distrófico Tb A moderado textura média e média/argilosa (4,3%);
- **Pva 5** – Associação de solos - Podzólico Vermelho_Amarelo álico Tb A moderado textura média/argilosa e média cascalhenta + Latossolo Vermelho-Amarelo álico A moderado e proeminente textura média e argilosa (5,3%);
- **Ra2** – Associação de solos - Solos Litólicos álicos A fraco e moderado textura arenosa substrato arenito fase rochosa + Afloramento de Rocha (12,1%);
- **Ra1** – Associação de solos - Solos Litólicos álicos A fraco e moderado textura arenosa substrato arenito fase pedregosa + Afloramento de Rocha (13%).

6.3. Enquadramento dos sistemas de classificação de solos

Tendo em conta os já referenciados enquadramentos pedológicos de Mafra e de Morro do Chapéu, nos sub-capítulos 6.1.5 e 6.2.5, respectivamente, importa igualmente situar os enquadramentos pedológicos a nível de país, ou seja Portugal e Brasil, bem como uma breve descrição da realidade constatada a nível internacional.

Este enquadramento comparativo da componente “solo” justifica-se tendo em conta o facto que, sendo este um trabalho com intuito comparativo, importa conhecer ambas as realidades, nacionais e internacionais. Isto, claro, além de sistemas já instituídos, que possibilitem a reclassificação de solos classificados em sistemas diferenciados, caso da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB). Só deste modo é possível discernir acerca da possibilidade, ou não, de comparar os solos de diferentes países.

Como se constatou, os sistemas de classificação de solos, além de serem baseados em sistemas diferenciados, não são comparáveis entre si. Os próximos sub-capítulos servem para compreender o porquê desta impossibilidade e a razão da análise diferenciada sobre a variável “solo” no capítulo 7, do método proposto.

6.3.1. A classificação dos solos

Os princípios sobre os quais a taxonomia de solos se guiou até à actualidade foram enunciados por Cline (1949), Smith (1963) e Arnold & Eswaran (2003), refere Chesworth (2008). A maior parte dos países tem algum tipo de programa próprio, relativo à classificação de solos, uns relativos a áreas mais específicas, outros de nível municipal, regional ou nacional (Chesworth, 2008). No entanto, uma estimativa sobre a distribuição global dos solos ainda não é possível, dado o facto de vários países ainda não terem inventários detalhados, destaca este autor.

Segundo Retallack (2001), as classificações de solos datam da segunda metade do século XIX, tendo as mesmas, desde o início, objectivos ligados ao planeamento agrícola e outros usos de solo. Contudo, as classificações sistemáticas só se iniciaram nas décadas seguintes (Chesworth, 2008).

De realçar a classificação de solos da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO-UNESCO), que surgiu em 1988 (Chesworth, 2008). O mesmo autor refere que, apesar de esta classificação ter sido inicialmente desenvolvida apenas como legenda para um mapa específico, à escala 1:5 000 000, e não enquanto sistema de classificação de solos, rapidamente foi aceite, a nível internacional, como referência, embora com várias melhorias. Este facto ainda é bem visível, já que são vários os sistemas de classificação que são influenciados pela classificação da FAO-UNESCO.

À semelhança das classificações botânicas ou zoológicas, na classificação pedológica consideram-se, hierarquicamente, as categorias taxonómicas, desde as de índole mais geral, até às categorias mais restritas, onde o grau de generalização é respectivamente mais limitado (Costa, 1999).

Chesworth (2008) refere que taxonomia dos solos distingue-se das demais, já que a utilização de horizontes de diagnóstico e de características é um factor diferenciador. O mesmo autor salienta que a significância de cada horizonte é uma função do solo e que alguns horizontes de diagnóstico, ou características, são utilizadas para definir a categoria máxima em termos de hierarquia, ou seja ao nível da Ordem.

A maior parte das classificações do solo existentes, têm a sua base teórica apoiada nos processos que formam o solo e são desenvolvidas de modo a ordenar as várias combinações de diferentes propriedades de solos (Retallack, 2001). Chesworth (2008) refere que um princípio basilar, nos actuais sistemas de classificação de solos, é o de que a classificação é dos solos e não sobre os processos ou factores formadores de solo, contrariamente ao instituído pelo sistema russo.

Este tipo de classificação providencia unidades básicas de classificação, as quais permitem a extrapolação, no que concerne à investigação dos solos (Retallack, 2001).

No que concerne à escala, quanto maior for a escala do mapa de solos, menor deverá ser a categoria taxonómica das unidades que nela constam (Costa, 1999). Este autor refere, sobre os vários esquemas de classificação que têm sido propostos e sobre o número variável de categorias, que as classes comumente mais reconhecidas são a Classe ou Ordem, a Subclasse ou Subordem, Grande Grupo ou Grupo, Subgrupo, Famílias, Série e tipo de solos.

Chesworth (2008) refere que, regra geral, cada Ordem tem 4 a 6 Subordens, definidas na base das propriedades que controlam a formação dos solos, ou na ausência destas. Tal como Retallack (2001) refere, os sistemas de classificação tornaram-se uma forma aparentada de pensar e comunicar numa língua estrangeira. Neste âmbito, enquadra-se a *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), a qual permite extrapolar os vários sistemas de classificação de solos num só, factor de primordial importância no que concerne a políticas territoriais de índole global. A WRB foi bastante influenciada pelo sistema de classificação da FAO-UNESCO (Chesworth, 2008).

De todas as classificações de solos existentes, centramo-nos apenas sobre as relativas às duas áreas de estudo desta investigação, Portugal e Brasil, e sobre a WRB, que sendo uma classificação convergente, encaramos como fundamental nos estudos de avaliação quantitativa da geodiversidade, concretamente no que concerne à variável “solo”.

6.3.2. A classificação de solos de Portugal

Segundo a Sociedade Portuguesa de Ciência de Solos – SPCS(2004), a cartografia sistemática de solos foi iniciada em Portugal em 1950, através de um Plano de Fomento promovido pelo então

Secretário de Estado da Agricultura. Decorrente desta iniciativa, o Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA) elaborou cerca de 81 folhas, à escala 1:50 000, centrando-se as mesmas na região a Sul do Tejo e nas regiões do Ribatejo, Oeste e Centro, bem como em alguns sectores do Nordeste de Portugal.

Por seu lado, a actual classificação dos solos de Portugal foi proposta na década de 60, do século passado, por Cardoso (1961) (SPCS), a qual teve uma nova versão na década seguinte. Esta classificação considera seis categorias taxonómicas, a nível da (1) Ordem, (2) Subordem, (3) Grupo, (4) Subgrupo, (5) Família e (6) Série.

Actualmente, a Classificação de Solos Portuguesa (CSP) que vigora é a que foi proposta por Cardoso (1974), refere a SPCS, no documento relativo às “*Bases para a Revisão e Actualização da Classificação dos Solos em Portugal*” (2004), uma evolução de uma primeira versão, proposta pelo mesmo autor (Cardoso, 1965).

Actualmente, não existe um Serviço Nacional de Solos em Portugal, bem como falta uma classificação de solos unificada para todo o país (SPCS, 2004), facto que restringe de forma muito substantiva os trabalhos relacionados com solos, por parte de investigadores interessados nesta temática.

Sobre a informação cartográfica dos solos de Portugal Continental, podemos resumir os seguintes conjuntos cartográficos:

- Carta dos Solos de Portugal – Elaborada à escala 1:50 000 para as regiões Sul do Tejo, Ribatejo, Oeste e Centro e Nordeste. Cartografia sem adequação à WRB;
- Carta de Solos do Nordeste de Portugal – Elaborada à escala 1:100 000. Em termos de taxonomia, foi utilizada a classificação de solos da FAO-UNESCO, o que lhe permite adequação à WRB;
- Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho – Elaborada à escala 1:100 000. Foram elaboradas também algumas cartas à escala 1:25 000, para áreas agrícolas. Foi utilizada a classificação FAO-UNESCO. Tem adequação à WRB;
- Carta de Solos da Região Interior-Centro – Elaborada à escala 1:100 000 e em formato digital. A sistematização taxonómica foi feita de acordo com a WRB;
- Esboços cartográficos nas Regiões Centro e Ribatejo – Elaborados à escala 1:25 000. Informação não adequada para transposição à WRB.

Depois de analisada esta informação, chega-se à conclusão que o conhecimento existente sobre solos em Portugal está disperso por vários trabalhos, elaborados por várias entidades públicas e/ou privadas. Além deste último facto, esta cartografia não reflecte todo o conhecimento existente sobre os solos de Portugal, bem como dificulta tentativas de uniformização e de utilização da informação, mais ainda tendo em conta que em alguns destes documentos, com escalas diferenciadas entre si, o sistema de classificação utilizado foi o de Cardoso (1965;1974) e em outros o sistema da FAO-UNESCO (SPCS, 2004).

No que se refere à cartografia sobre a qual adiante incidiremos, esta reporta-se aos esboços cartográficos das Regiões Centro e Ribatejo, área onde está localizado o concelho de Mafra. Sendo um mero esboço cartográfico e com as limitações enunciadas, torna-se evidente o facto de não ser exequível a sua transposição para a WRB, o que limita, em parte, a análise sobre esta variável no contexto da avaliação quantitativa da geodiversidade, concretamente na sua comparação com o sistema brasileiro.

6.3.3. A classificação de solos do Brasil

Tendo reconhecidas influências do sistema de classificação de solos americano e, mesmo da legenda de solos da FAO (Embrapa, 2006), o sistema brasileiro de classificação de solos (SBCS), de abrangência nacional, é coordenado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

Apesar deste sistema de classificação já ir na sua terceira versão, a muito recente edição da mesma (2013) impossibilita-nos o acesso à mesma, daí a análise incidir sobre a segunda revisão da classificação de solos do Brasil (2006). Relativamente à primeira edição da classificação de solos brasileira, esta ocorreu em 1987 (Embrapa). Julgamos muito importante a dedicação dada pelas entidades públicas brasileiras, face à ciência dos solos, bem como o desenvolvimento da mesma ter um permanente suporte pela comunidade de Ciência do Solo, no Brasil, aos níveis nacional, regional e local. Estes factos possibilitam e facilitam a disponibilidade de informação relativa aos solos do Brasil.

No documento Embrapa (2006), define-se solo como *«uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.»*

Ainda no mesmo documento, é referido que «*o solo tem como limite superior a atmosfera. Os limites laterais são os contatos com corpos d'água superficiais, rochas, gelo, áreas com coberturas de materiais detriticos inconsolidados, aterros ou com terrenos sob espelhos d'água permanentes.*»

À semelhança da WRB, a SBCS fixa em 2 metros o limite inferior do solo, salvo algumas exceções, as quais podem reduzir esse limite para 1,5 metros ou aumentá-lo para 3 metros.

Em termos de níveis categóricos do sistema brasileiro de classificação de solos, este considera seis níveis, (1) as Ordens, (2) as Subordens, (3) os Grandes Grupos, (4) os Subgrupos, (5) as Famílias e (6) as Séries.

A nível de Ordens, o nível mais relevante nesta análise, são 13 as existentes (Tabela 6.1.), e «*são separadas pela presença ou ausência de determinados atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades que são passíveis de serem identificadas no campo mostrando diferenças no tipo e grau de desenvolvimento dos processos que atuaram na formação do solo. Assim, a separação das classes no 1º nível categórico teve como base os sinais deixados no solo, pela atuação de um conjunto de processos que foram considerados os dominantes no desenvolvimento do solo.*» (Embrapa, 2006).

Tabela 6.1. – Primeiro nível categórico (Ordem) do sistema de classificação de solos brasileiro, com os respectivos elementos formativos e termos de conotação (Embrapa, 2006).

Classe	Elemento Formativo	Termos de conotação e de memorização
ARGISSOLO	ARGI	"Argilla". Acumulação de argila Tb ou Ta (baixa ou alta atividade da fração argila), dessaturado de bases.
CAMBISSOLO	CAMBI	"Cambiare", trocar ou mudar. Horizonte B incipiente.
CHERNOSSOLO	CHERNO	Preto, rico em matéria orgânica.
ESPODOSSOLO	ESPODO	"Spodos", cinza vegetal. Horizonte B espódico.
GLEISSOLO	GLEI	Glei. Horizonte glei.
LATOSSOLO	LATO	"Lat", material muito alterado. Horizonte B latossólico.
LUVISSOLO	LUVI	"Luere", iluvial. Acumulação de argila com alta saturação por bases e Ta.
NEOSSOLO	NEO	Novo. Pouco desenvolvimento genético.
NITOSSOLO	NITO	"Nitidus", brilhante. Horizonte B nítico.
ORGANOSSOLO	ORGANO	Orgânico. Horizonte H ou O hístico.
PLANOSSOLO	PLANO	"Planus". Horizonte B plânico.
PLINTOSSOLO	PLINTO	"Plinthus". Horizonte plíntico.
VERTISSOLO	VERTI	"Vertere", inverter. Horizonte vértico.

6.3.4. Classificação de solos da Base de Referência Internacional para os Solos (WRB)

A primeira versão oficial da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) surgiu em 1994, tendo sido adoptada em 1998, pela União Internacional para os Recursos do Solo (IUSS) como base de referência para a correlação de solos a nível internacional (Chesworth, 2008). Uma segunda versão da WRB, revista, surgiu em 2006. Ambas as versões são fortemente influenciadas pelo sistema de classificação da FAO-UNESCO, refere o mesmo autor e reconhece a própria WRB. Chesworth (2008) destaca aliás que a WRB é uma evolução da classificação da FAO-UNESCO, a qual aprofunda a componente científica, último deste sistema, dando-lhe uma melhor coerência. Segundo a IUSS, este documento visou o reforço do entendimento da ciência dos solos, não só a nível público, bem como a nível da própria comunidade científica, servindo assim como denominador comum.

A WRB, além de considerar os materiais até uma profundidade de 2 metros, com contacto com a atmosfera, considera, no que se refere ao solo, que este é um corpo natural contínuo, com 3 dimensões espaciais e uma dimensão temporal. Em termos de dimensão espacial, esta considera (1) os constituintes minerais, (2) os constituintes orgânicos e (3) a forma como estes constituintes estão organizados, ou seja a sua estrutura. Por seu lado, a dimensão temporal referida tem a ver com a evolução do solo num determinado período, caso de séculos ou milénios ou outro.

Em termos genéricos, a WRB é fundamentalmente um sistema de classificação que possibilita a transposição dos vários sistemas de classificação nacionais existentes. Estes são comumente não relacionados entre si, facto que dificulta, ou mesmo impede, uma análise comparativa a nível supra-nacional.

Esta base de referência tem dois níveis de detalhe categórico, um dos quais compreende um conjunto de qualificadores, que inclui prefixos e sufixos. Estes são posteriormente adicionados a cada um dos 32 Grupos de Referência de Solos (RSG) (Tabela 6.2.), de forma a que se possa chegar às unidades de segundo nível.

No nível hierárquico mais elevado, as classes são diferenciadas de acordo com os processos pedogénicos primários que originam as características do solo (WRB, 2006). Já num segundo nível, a WRB diferencia as unidades de solo de acordo com quaisquer processos de formação do solo secundários que tenham afectado de forma significativa as características primárias do solo.

Esta base de referência é fundamental para a prossecução de uma política comum de gestão de solos, a nível de cooperação supra fronteira.

Tendo em conta a necessidade de transpor o sistema de classificação nacional de solos (CSP) para a WRB, a Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, transpôs as Ordens/Subordens da CSP (Tabela 6.3.). No entanto, e como já referido, a classificação de solos de Maфра não possibilita esta transposição.

Tabela 6.2. – Chave de relação para com os Grupos de referência da WRB (2006).

1. Soils with thick organic layers:	Histosols
2. Soils with strong human influence	
Soils with long and intensive agricultural use:	Anthrosols
Soils containing many artefacts:	Technosols
3. Soils with limited rooting due to shallow permafrost or stoniness	
Ice-affected soils:	Cryosols
Shallow or extremely gravelly soils:	Leptosols
4. Soils influenced by water	
Alternating wet-dry conditions, rich in swelling clays:	Vertisols
Floodplains, tidal marshes:	Fluvisols
Alkaline soils:	Solonetz
Salt enrichment upon evaporation:	Solonchaks
Groundwater affected soils:	Gleysols
5. Soils set by Fe/Al chemistry	
Allophanes or Al-humus complexes:	Andosols
Cheluviation and chilluviation:	Podzols
Accumulation of Fe under hydromorphic conditions:	Plinthosols
Low-activity clay, P fixation, strongly structured:	Nitisols
Dominance of kaolinite and sesquioxides:	Ferralsols
6. Soils with stagnating water	
Abrupt textural discontinuity:	Planosols
Structural or moderate textural discontinuity:	Stagnosols
7. Accumulation of organic matter, high base status	
Typically mollic:	Chernozems
Transition to drier climate:	Kastanozems
Transition to more humid climate:	Phaeozems
8. Accumulation of less soluble salts or non-saline substances	
Gypsum:	Gypsisols
Silica:	Durisols
Calcium carbonate:	Calcisols
9. Soils with a clay-enriched subsoil	
Albeluvisol tonguing:	Albeluvisols
Low base status, high-activity clay:	Alisols
Low base status, low-activity clay:	Acrisols
High base status, high-activity clay:	Luvisols
High base status, low-activity clay:	Lixisols
10. Relatively young soils or soils with little or no profile development	
With an acidic dark topsoil:	Umbrisols
Sandy soils:	Arenosols
Moderately developed soils:	Cambisols
Soils with no significant profile development:	Regosols

Tabela 6.3. – Transposição das Ordens/Subordens da Classificação de Solos Portuguesa (CSP) utilizando a World Reference Base for Soil Resources (WRB). Fonte: Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo.

Ordens/Subordens da CSP X Agrupamentos da WRB	
Solos Incipientes	
Litossolos	Leptosols (Lithic, Paralithic)
Aluviossolos	Fluvisols
Regossolos	Arenosols
Solos de Baixa	Regosols; Fluvisols
Solos Litólicos	
Solos Litólicos Húmicos	Umbrisols, Leptosols (Humic, Umbric) Regosols, Cambisols (Humic)
Solos Litólicos Não Húmicos	Cambisols, Leptosols, Regosols
Solos Calcários	
Solos Calcários Pardos	Leptosols, Cambisols (Calcaric), Regosols (Calcaric), Calcisols
Solos Calcários Vermelhos	Leptosols, Cambisols (Calcaric, chromic), Calcisols
Barros	
Barros Pardos	Vertisols (Pellic)
Barros Pretos	Vertisols
Barros Castanho-Avermelhados	Vertisols (Chromic)
Solos Mólicos	
Castanozemes	Phaeozems, Kastanozems
Solos Argiluiados Pouco Insaturados	
Solos Mediterrâneos Pardos	Luvisols, Lixisols, Alisols, Acrisols (Chromic)
Solos Mediterrâneos Vermelhos ou Amarelos	Luvisols, Lixisols, Alisols, Acrisols (Chromic, Rhodic)
Solos Podzolizados	
Podzóis Não Hidromórficos	Podzols
Podzóis Hidromórficos	Podzols (Gleic)
Solos Halomórficos	
Solos Salinos	Soloncharks
Solos Hidromórficos	
Solos Hidromórficos sem Horizonte Eluvial	Gleysols
Solos Hidromórficos com Horizonte Eluvial	Planosols
Solos Orgânicos Hidromórficos	
Solos Turfosos com Materiais Sápricos	Umbrisols, Leptosols (Humic), Histosols

Capítulo 7

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA GEODIVERSIDADE
DOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E MORRO DO CHAPÉU**

7.1. Áreas e escalas de trabalho

Neste capítulo apresentam-se todos os passos (Fig. 7.1.), faseados, de desenvolvimento e aplicação de um novo método que tem como base o estabelecimento de um índice numérico, indicador da diversidade e relevância do substrato abiótico, ou seja, indicador da geodiversidade. Este índice resultou em mapas cuja leitura se julga fácil e imediata, possibilitando assim a sua introdução nos planos de ordenamento territorial, numa primeira etapa no município de Mafra, em Portugal e no município de Morro do Chapéu, no Brasil.

Numa primeira parte deste capítulo, será apresentada a forma como a informação cartográfica foi produzida e/ou devidamente preparada para a modelação espacial. Numa segunda parte, será explanado todo o processo de processamento que levou à criação do índice de geodiversidade.

Importa desde já salientar três pontos fundamentais sobre os quais este capítulo se rege. O primeiro é o de se considerar que não há um único método que possa abarcar toda a geodiversidade de um território. Qualquer método trata sempre uma parte de um todo, naturalmente representativa e fundamental para a compreensão deste mesmo território e da sua geodiversidade. O segundo ponto decorre do primeiro, já que qualquer método tem sempre um intuito fundamental, sendo que no caso deste trabalho o intuito previamente assumido é o do ordenamento do território.

Para uma mesma matéria, neste caso a geodiversidade, cada investigador pode ter uma abordagem diferenciada, privilegiando aquilo que considera como prioritário, daí o assumir da vertente “ordenamento do território” nesta análise quantitativa da geodiversidade. Hipoteticamente isto pode representar uma certa subjectividade latente, embora menosprezável, sabendo no entanto que isso faz parte do processo de investigação.

Relativamente ao terceiro ponto, este baseia-se num pressuposto básico, já referido (p. 152) por Carcavilla *et al.* (2007), o de que quanto maior for o número de variáveis a englobar na avaliação quantitativa da geodiversidade, maior será inevitavelmente a dificuldade em definir classes e em gerir o conjunto da informação. Ou seja, importa concentrar os recursos nas variáveis consideradas mais pertinentes, tendo em conta os objectivos do trabalho, o que pode não traduzir um elevado número de variáveis.

O factor primordial é adquirir variáveis relevantes, objectivas e saber gerir essa informação. Isto não significa que, baixando o número de variáveis, se baixa a exigência nessa mesma avaliação, mas sim que esta tem de ser exequível e funcional, facilitando deste modo a sua aplicação em termos práticos. Este pormenor pode fazer toda a diferença aquando da decisão de inclusão, ou

não, desta avaliação nos planos de ordenamento territorial, nomeadamente Planos Directores Municipais.

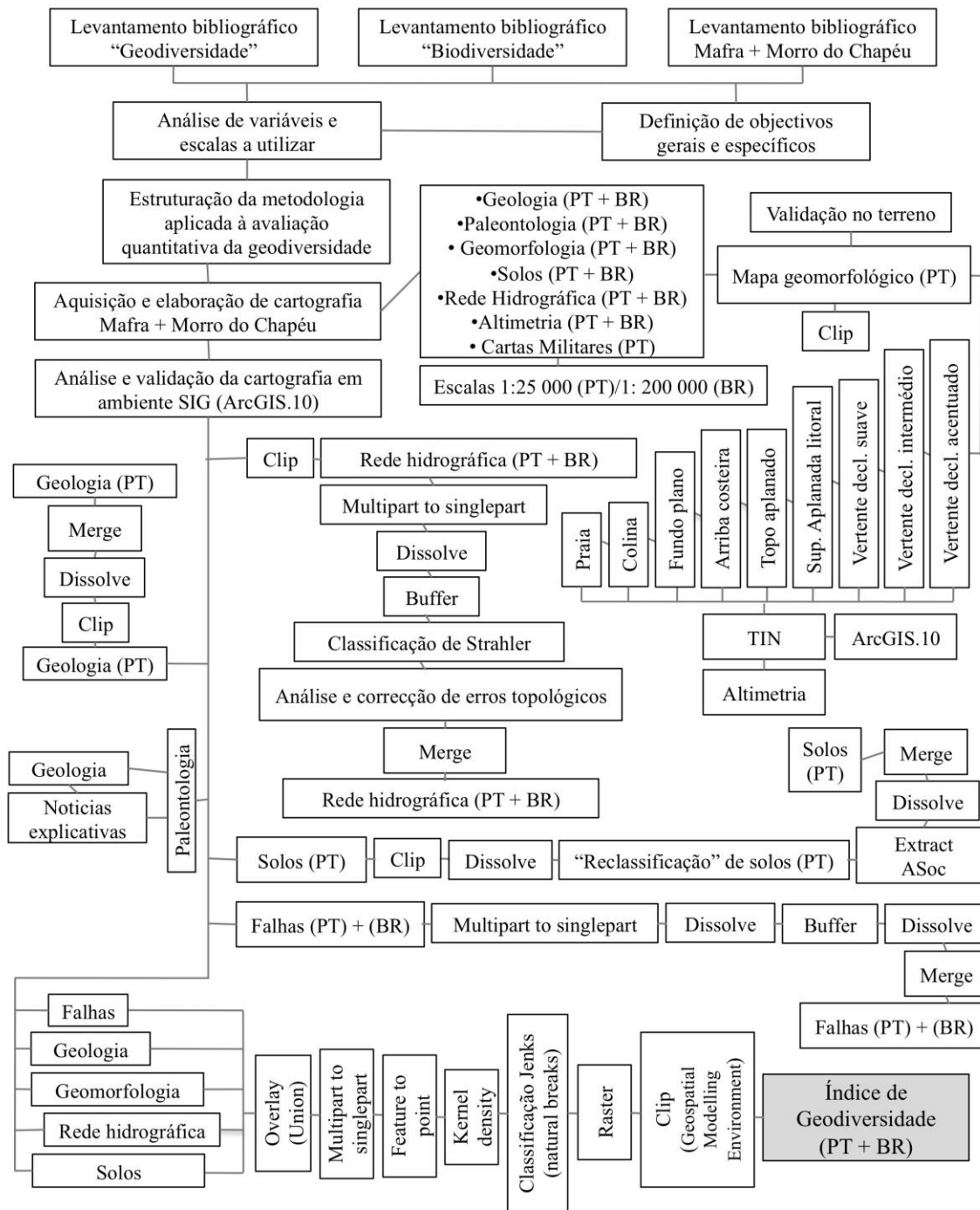


Figura 7.1. – Modelo conceptual da quantificação da geodiversidade, aplicada aos municípios de Mafra e Morro do Chapéu.

Importa também salientar que esta metodologia envolve mais do que uma simples contagem de variáveis, pois além deste passo, envolve a interpretação das mesmas e a relação entre as mesmas, ou a sua distribuição espacial, tal como Gray (2004) e Carcavilla *et al.* (2007) referem (p. 350; p. 147, respectivamente). Outras metodologias de quantificação da geodiversidade, já referenciadas no capítulo 5, consideram os elementos como presentes ou ausentes, o que acaba por ser menos abrangente do que na proposta agora apresentada.

Passando agora à descrição da metodologia proposta, esta passou por uma intensa análise bibliográfica de informação diversificada, relacionada não só com a avaliação quantitativa da geodiversidade, bem como com a própria geodiversidade. De forma complementar, procedeu-se à análise de informação relacionada com a avaliação quantitativa da biodiversidade e com a biodiversidade, enquanto conceito. Isto tendo em conta o facto de nesta última os métodos já estarem muito desenvolvidos, sendo portanto pertinente acompanhar de perto o que se avalia e a forma como se quantifica a biodiversidade.

Após esta fase, e já depois de uma pré-avaliação, procedeu-se à escolha das áreas de estudo, sabendo à partida que seriam duas, uma em Portugal e outra no Brasil. No caso português, a escolha incidiu no município de Mafra, dada a existência da cartografia em formato vectorial, para as variáveis escolhidas e às escalas pretendidas. A Câmara Municipal de Mafra disponibilizou toda a cartografia solicitada, já depois de efectuado um reconhecimento de campo, ocorrido em Agosto de 2012. No caso do Brasil, a escolha incidiu sobre o município de Morro do Chapéu, no Estado da Bahia. A decisão sobre este município surgiu após um reconhecimento de campo na Chapada Diamantina, efectuado durante o mês de Abril de 2011, inicialmente na área compreendida entre Lençóis, Palmeiras, Igatu e Mucugê. Seguiu-se o município de Morro do Chapéu, a Norte, que acabou por ser a escolha final tendo em conta as suas características geológicas e, diga-se, fundamentalmente a disponibilidade de cartografia vectorial. Esta cartografia foi disponibilizada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, através da Superintendência de Salvador, Bahia.

A escolha de duas áreas de estudo deve-se ao facto de um dos objectivos deste trabalho ser o de avaliar sobre a possibilidade de se compararem áreas diferenciadas, a escalas diferenciadas, a nível global, aproveitando naturalmente o facto de já existir um convénio entre universidades, neste caso Universidade do Minho, Portugal, e Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.

Note-se que a inexistência de cartografia vectorial é considerada como um forte constrangimento e uma limitação crucial neste processo de quantificação da geodiversidade, pelo que a escolha das

áreas de estudo está condicionada à existência desta cartografia. Logo à partida esta foi uma das limitações constatadas.

Tendo em conta estes factos, optou-se por centrar a análise nos elementos considerados mais relevantes em termos de ordenamento do território, ou seja a geologia, a geomorfologia e rede hidrográfica e os solos. Apesar de não estruturante, optou-se por incluir na análise a variável “paleontologia”, através da incorporação da informação sobre o registo fossilífero. Estas variáveis são passíveis de utilização, independentemente da escala utilizada. Apesar do uso de um número não muito elevado de variáveis, interessa sublinhar o facto de o método permitir a inclusão de outras variáveis, desde que estas estejam no formato vectorial e sejam representadas em forma poligonal ou pontual. As de tipo linear podem ser transformadas em polígono, através da função “*buffer*”, seguidamente referida.

Quanto às escalas pretendidas para a análise, e tendo em conta que um dos objectivos do trabalho é o de comparar resultados obtidos em áreas com diferentes dimensões, como referido anteriormente, optou-se por utilizar as escalas 1:25 000 e 1:50 000 para o caso de Mafra e as escalas 1:100 000 e 1:200 000 para Morro do Chapéu. Sabendo que para uma mesma área dificilmente haverá cartografia a uma mesma escala, optou-se por incluir informação às respectivas escalas, já que estas acabam por ser compatíveis entre si e complementares em termos de informação. Ou seja, no caso de Mafra, a cartografia à escala 1:50 000 é compatível com a escala 1:25 000 e, no caso de Morro do Chapéu, a cartografia à escala 1:200 000 é compatível com a escala 1:100 000. Esta opção possibilita ultrapassar constrangimentos e limitações a nível da existência de informação a uma só escala e a falta da mesma noutra escala. Através do tratamento cruzado da informação, consegue-se trabalhar a informação cartográfica necessária.

Importa relevar que, apesar de um dos objectivos enunciados ser o da comparação a diferentes escalas, este mesmo objectivo não exclui o facto de, à mesma escala, a mesma metodologia possibilite igualmente comparações, algo desejável em qualquer metodologia, tendo em conta a necessidade de standardizar procedimentos.

A normalização de processos passa, em boa medida, pela utilização de sistemas de informação geográfica, vulgo SIG. Deste modo, surgiu a necessidade de automatizar procedimentos de quantificação baseados numa plataforma SIG, neste caso o *software* ArcGIS.10. No entanto, e para que isso seja possível, foi necessário validar toda a cartografia vectorial adquirida, para ambas as áreas de estudo.

7.2. Validação da cartografia vectorial

Enquanto garantia de qualidade de um qualquer trabalho baseado em SIG, uma das primeiras preocupações deverá ser o da validade técnica da informação cartográfica original, pois apenas uma cartografia sem erros se poderá revelar útil. Apesar de a cartografia provir de instituições credenciadas, existem naturalmente alguns erros cartográficos, de maior ou menor gravidade, tal como foi constatado, os quais, em caso de não correcção, podem enviesar os resultados. Só depois de garantida a integridade de informação cartográfica se poderá validar a mesma, de modo a proceder à sua utilização.

Com base neste pressuposto fundamental, procedeu-se à validação da cartografia vectorial, com vista à sua correcta utilização. A maior parte dos erros centrou-se a nível das redes hidrográficas relativas a Mafra e Morro do Chapéu, com vários erros topológicos, referenciados nos sub-capítulos 7.2.1 e 7.2.3, respectivamente.

Na restante cartografia, os erros encontrados foram diminutos, sendo estes a vários níveis, desde a falta de descrição em alguns atributos, caso ocorrido por exemplo na cartografia geológica de Morro do Chapéu. Nesta última, e já depois de uma cuidadosa análise, procedeu-se a uma renomeação das classes de acordo com as legendas das cartas geológicas, nomeadamente a Folha Morro do Chapéu – SC.24 –Y – C – V e Folha Jacobina – SC.24 – Y – C. A decisão sobre esta renomeação teve como objectivo a extracção de informação que não transparecia na antiga legenda, aumentando assim o cariz informativo da mesma. Importa também referenciar que, nesta legenda (anexo 6.09; anexo 6.09B) constam associações litológicas, dado a escala não permitir o desejável pormenor.

Além destes erros, foram escassos aqueles encontrados na cartografia relativa aos solos (Mafra e Morro do Chapéu) e geomorfologia (Morro do Chapéu).

De modo a discriminar melhor a cartografia vectorial utilizada, referencia-se a mesma de acordo com a área de estudo:

1. Município de Mafra (cartas 374; 388; 389; 402; 403):

- Geologia (1:25 000);
- Hidrografia (1:25 000);
- Solos (1:25 000);
- Altimetria (1:25 000).

2. Município de Morro do Chapéu

- Geologia (1:200 000);
- Geomorfologia (1:200 000);
- Solos (1:200 000);
- Hidrografia (1:200 000).

Relativamente a Morro do Chapéu, a cartografia fornecida decorre do Projecto Mapas Municipais, do município de Morro do Chapéu, datado de 1995. Esta cartografia resume-se à área do município, excluindo áreas adjacentes, facto a salientar por comparação com o município de Mafra, em Portugal.

No caso de Morro do Chapéu, e para a rede hidrográfica, houve a necessidade de obter algumas cartas 1:100 000, de modo a efectuar uma análise mais abrangente, à qual se fará referência no sub-capítulo 7.2.3.

Como se pode depreender pelo elenco de variáveis, e para o caso de Mafra, não existia a necessária cartografia geomorfológica, a qual teve de ser elaborada no âmbito desta tese.

Ainda relativamente a Mafra, e no que se refere à cartografia geológica, de modo a ter esta cartografia pronta para o devido processamento no ArcGIS.10 tiveram de se efectuar 3 operações. A primeira delas correspondeu à reunião de todas as cartas (5) numa única *shapefile* ou ficheiro, através da função “*merge*”. A segunda operação efectuada foi um “*dissolve*”, de modo a eliminar os limites artificialmente criados entre polígonos adjacentes e com iguais atributos, nas áreas fronteiriças aquando da primeira operação. A terceira operação correspondeu à imposição do limite da área de estudo, neste caso a área do limite administrativo do município de Mafra, como limite para a informação cartográfica. Esta operação efectua-se através da função “*clip*”, que corresponde a um recorte da informação de base ao longo do novo limite.

Operação semelhante, embora mais extensa, foi efectuada relativamente às falhas. Neste caso, após as duas primeiras operações introduziu-se uma outra. Ou seja, criou-se um “*buffer*” de 2,5 metros sobre cada falha, o qual visou tornar a cartografia utilizável, já que a informação com o formato linear não é passível de utilização nesta metodologia, tendo a mesma de ser convertida em polígonos. Tendo em conta a escala 1:25 000, optou-se por um *buffer* de 2,5 metros, que gera áreas com 5 metros de largura e a que corresponde a unidade mínima cartografável. Posteriormente efectuiu-se a operação “*multipart to singlepart*”, de modo a por cada entrada na base de dados SIG correspondesse uma só entidade geográfica. Esta operação, bem como a do

buffer, será descrita pormenorizadamente nos próximos sub-capítulos. Findada esta última operação, procedeu-se ao recorte de informação segundo os limites administrativos, ou seja utilizando a função “*clip*”.

No caso de Morro do Chapéu, e ainda no que se refere às falhas, a diferença residiu apenas no menor número de operações, já que a cartografia existente era apenas relativa ao município de Morro do Chapéu. Efectuaram-se as operações “*buffer*” (20 metros), “*dissolve*” e “*multipart to singlepart*”. A medida de 20 metros do *buffer* foi definida tendo por base a medida do *buffer* aplicado a Mafra (2,5 metros à escala 1:25 000) ajustado para a escala 1:200 000.

No que se refere à cartografia de solos, no caso de Mafra, tiveram de se efectuar uma série de operações, algo semelhantes às efectuadas com a cartografia geológica. Iniciando com um “*merge*” para agrupar numa só todas as cartas (5), passou-se a um “*dissolve*” para eliminar os limites artificiais de antigas áreas de contacto entre cartas. Finalizada esta parte, extraíram-se os polígonos considerados nulos para a análise, no caso: 22 polígonos onde não constavam solos, no sector litoral, nomeadamente em zona de praia e arriba; e também os 247 polígonos referentes à área social (ASoc), dada a inexistência de dados sobre os solos. Seguidamente, efectuou-se uma reclassificação de solos, já que na informação de base, originária da Nota Explicativa da Carta de Solos de Portugal (anexo 6.03B), constavam, além dos solos, as fases utilizadas na Carta dos Solos de Portugal, casos da fase agropédica, delgada, espessa, mal drenada, inundável ou pedregosa. Esta última informação não era relevante para a análise, daí a sua exclusão e a necessidade de reclassificação dos solos apenas de acordo com o seu tipo. Finalmente efectuou-se um “*dissolve*” e um “*clip*” segundo os limites administrativos do município de Mafra.

Relativamente à rede hidrográfica, descreve-se o processo no ponto 7.2.1.

7.2.1. Rede hidrográfica do município de Mafra

Foi efectuada sobre a cartografia 1:25 000, em formato vectorial (*shapefile*) e de tipo linear, relativa à rede hidrográfica das cartas 374, 388, 389, 402, 403 e referentes ao município de Mafra (anexo 6.02), uma análise topológica, como forma de aferir da integridade da informação cartográfica. Esta análise, através da ferramenta “*fix topology error tool*” do ArcGis.10, permitiu detectar erros presentes na cartografia, erros estes que impossibilitam uma posterior classificação dos cursos de água. Como forma de facilitar e automatizar a análise foram aplicadas regras, tendo sido escolhidas duas que em conjunto ajudaram a validar a cartografia.

Em primeiro lugar, foi escolhida a regra “*must not overlap*”, a qual indica que, no local onde qualquer linha esteja duplicada, na mesma categoria, existe um erro a corrigir (Fig. 7.2.).

Em segundo lugar, foi escolhida a regra “*must not have dangles*”, a qual aponta que, no local onde uma linha não toque outra, há um erro a corrigir. Em ambos os casos, o erro surge apresentado na forma de um ponto, o qual facilmente permite a sua detecção visual.

A maioria dos erros detectados, na ordem das centenas, decorriam do facto de muitas das representações dos cursos de água terem ligações quebradas, ou seja descontinuidades (*dangles*), o que impedia uma posterior classificação de *Strahler* sobre os mesmos. De forma residual havia linhas onde, e por comparação com as cartas militares respectivas, apesar de haver linhas de água, não havia a respectiva representação cartográfica das mesmas. Foram dois os casos mais facilmente detectados em parte do sector terminal do Rio Lizandro e em parte do sector terminal do Rio Safarujó, a escassas dezenas de metros do lugar de São Lourenço.

Todos os erros foram devidamente corrigidos através da edição das respectivas linhas representativas dos cursos de água.

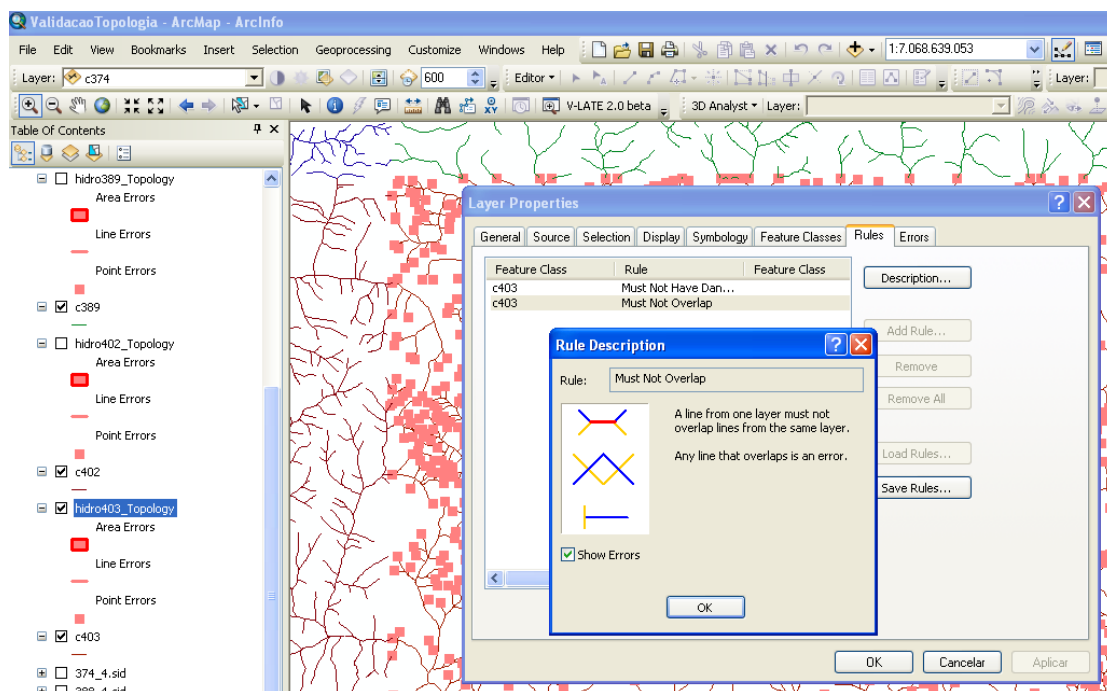


Figura 7.2. – Imagem ilustrativa do processo de validação topológica da rede hidrográfica do município de Mafra.

7.2.2. Classificação de Strahler

Concluída a correcção de erros topológicos, procedeu-se a uma classificação dos cursos de água através do método *Strahler* (2002). Neste método, são classificados e hierarquizados todos os cursos de água, de montante para jusante. Aos primeiros cursos de água, a montante, é-lhes atribuída a Ordem 1. Prosseguindo para jusante, onde coalescem dois troços de igual ordem, é atribuída, e apenas nesta situação, a Ordem sucessiva ao troço seguinte. No caso da área de estudo, o valor máximo obtido pela classificação de *Strahler* foi a Ordem 6, correspondente ao sector terminal do rio Lizandro e a um troço do rio Trancão.

Para que fosse possível esta classificação, à *shapefile* relativa aos cursos de água, já corrigida, adicionou-se um novo campo, denominado de “Strahler”, aos seus atributos. Seguidamente preencheu-se este campo com os valores relativos à hierarquia de *Strahler*, de 1 a 6, o que, através da edição da *shapefile* e classificando de todos os cursos de água localizados no município de Mafra.

Terminada a classificação, seguiu-se trabalho de campo que teve como objectivo efectuar medições padrão, relativas à largura do canal dos cursos de água, em duas áreas diferenciadas. A primeira área teste escolhida foi na bacia hidrográfica do Rio Lizandro, perto da sua foz, onde ocorrem todas as Ordens da hierarquia de *Strahler* atrás referidos (Fig. 7.3.). A segunda área de teste está localizada sensivelmente entre os lugares da Charneca e da Póvoa da Galega, na bacia hidrográfica do Rio Trancão, no sector Este do município de Mafra (Fig. 7.4.). Estes são os dois únicos sectores onde se podem observar todas as Ordens enunciadas.

Os valores constatados foram proximais em ambas as bacias hidrográficas, levando a que fosse assumido um valor padrão para toda a área de estudo (Tabela 7.1.), em cada uma das Ordens.

Tabela 7.1. – Valores padrão relativos à largura dos canais analisados.

Hierarquia (Strahler)	Largura do canal (metros)
1	0,5
2	1
3	2
4	4
5	6
6	12

Naturalmente que estes são valores médios e indicativos, os quais podem sofrer ligeiras alterações dependentes de vários factores, nomeadamente a intervenção humana nos canais, como se constatou durante o trabalho de campo. Contudo, consideram-se estes valores médios como válidos para este estudo.



Figura 7.3. – Largura dos canais da bacia hidrográfica do Rio Lizandro; os números presentes em cada uma das imagens referem-se à Ordem de *Strahler*.



Figura 7.4. – Largura dos canais da bacia hidrográfica do Rio Trancão; os números presentes em cada uma das imagens referem-se à Ordem de *Strahler*.

Finalizado este processo de classificação, procedeu-se à extrapolação destes valores, através da criação de um zonamento ao longo da rede hidrográfica, com recurso à ferramenta “*buffer*”. Com as linhas correspondentes aos cursos de água e aos valores médios encontrados para a largura dos canais criou-se uma nova *layer* (Fig. 7.5.), transformando a informação de uma *feature class* linear em informação de natureza poligonal. Ou seja, ao criar-se um *buffer*, está a criar-se um zonamento em redor de uma linha de água. Desta forma, para cada uma das ordens, tem-se um

valor definido para o zonamento, sendo que para a ordem 6 a distância é de 6 metros para cada lado do curso de água, para a ordem 5 é de 3 metros para cada lado e assim respectivamente para as outras ordens.

Esta classificação teve um propósito concreto, o de possibilitar a inclusão do parâmetro hidrológico, de uma forma mais precisa, como componente geomorfológica, o qual se considera relevante na avaliação da quantificação da geodiversidade. Mais concretamente, era intenção incluir a largura dos canais como parâmetro específico e tratado à parte da restante informação relativa à geomorfologia.

Relativamente a uma outra variável, as lagoas, considerou-se a sua área, enquanto polígono, para inserção conjunta com a rede hidrográfica. Dada a impossibilidade de percorrer toda a área de estudo, procedeu-se à interpretação de ortofotomapas, distinguindo lagoas naturais e lagoas artificiais, como o caso de lagoas situadas em antigas pedreiras. Estas últimas foram excluídas da análise.

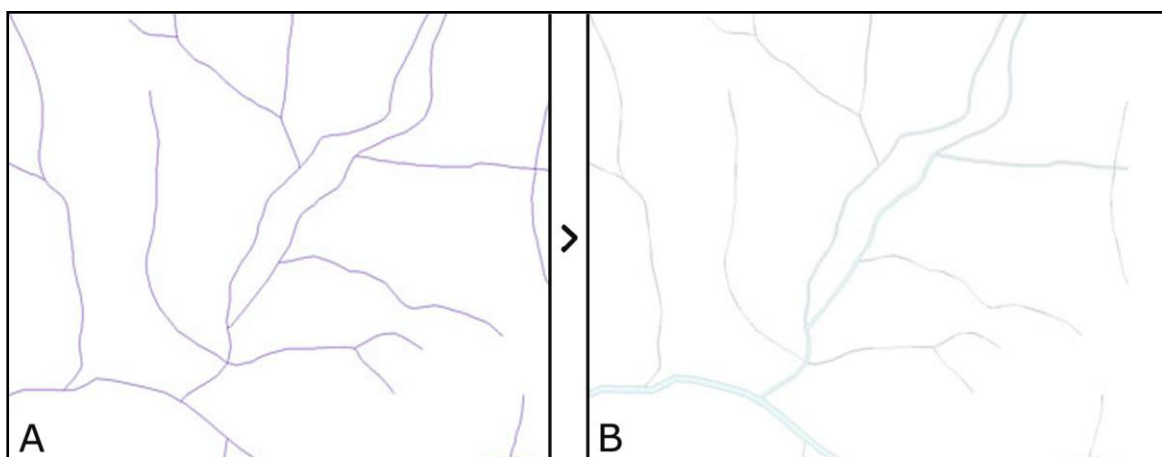


Figura 7.5. – Imagens relativas à mesma área do Rio Lizandro, no seu sector terminal, sem (A) e com buffers (B) aplicados à rede hidrográfica classificada segundo o método de *Strahler*.

Após se obter a nova *feature class*, relativa à rede hidrográfica, e de forma a eliminar sobreposições (Fig. 7.6. – A) originadas aquando da operação de tipo *buffer*, efectuou-se um outro processo, conhecido por *dissolve* (Fig. 7.6. – B). Basicamente, este processo dissolve todas as *features* numa só, possibilitando assim uma análise mais correcta do ponto de vista cartográfico.

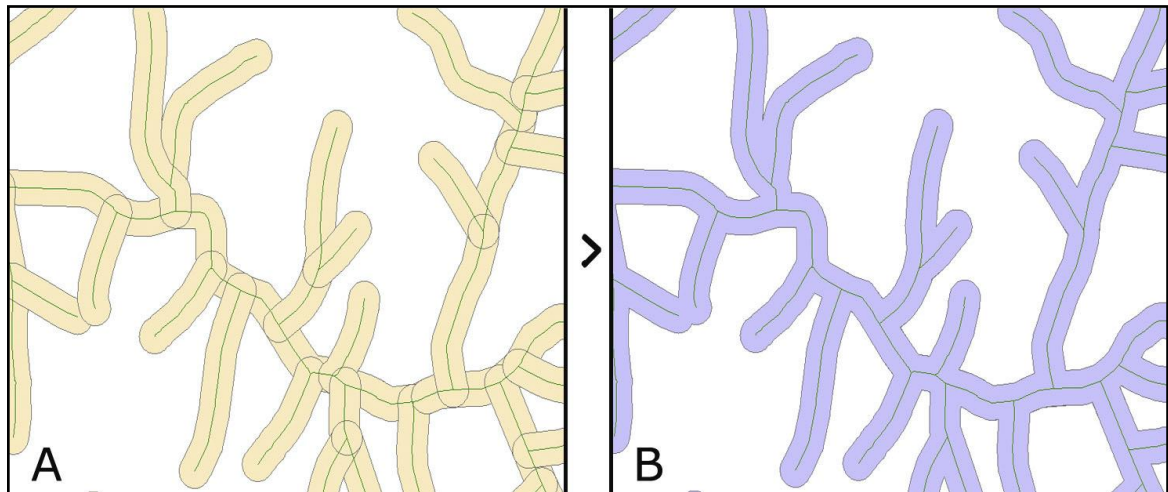


Figura 7.6. – Imagens que resultam do processo de *dissolve* (B), relativo ao *buffer* (A) efectuado num sector intermédio do Rio Lizandro.

Para que a análise fosse a mais correcta teve de se utilizar uma outra ferramenta, “*multipart to singlepart*” presente na “*data management tools*”. Esta ferramenta, já anteriormente descrita, tem como intuito o de separar em entidades diferentes polígonos que partilham as mesmas características, embora tenham localizações diferenciadas. Assim sendo, e depois de efectuado este processo, cada polígono é considerado por si mesmo e não como um mesmo conjunto de entidades que partilham os mesmos atributos (Fig. 7.7.).

Após estes passos de geoprocessamento, a informação ficou passível de ser utilizada no processo de quantificação da geodiversidade.

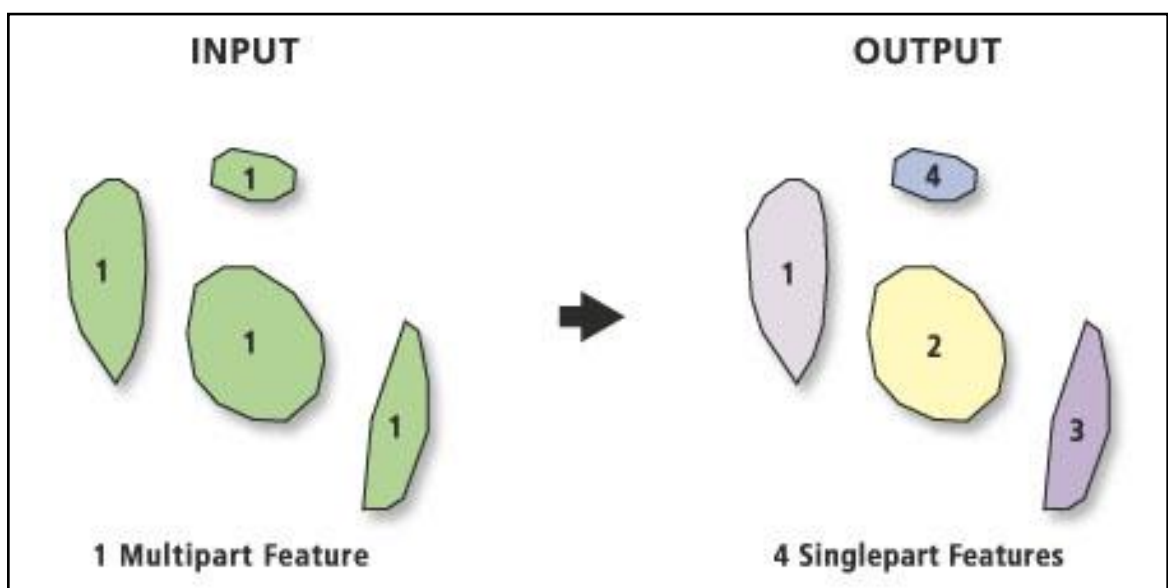


Figura 7.7. – Imagem ilustrativa do processo de passagem de *multipart*s para *singlepart*s (Fonte: ESRI).

7.2.3. Rede hidrográfica do Município de Morro do Chapéu

O procedimento relativo à classificação da rede hidrográfica do município de Morro do Chapéu (anexo 6.08) foi semelhante ao do município de Mafra e já descrito no ponto 7.2.1. Para Morro do Chapéu, foram utilizadas para o procedimento cerca de 13 cartas (IBGE) à escala 1:100 000 (Tabela 7.2.), dada a sua grande extensão territorial.

Tabela 7.2. – Cartas utilizadas para a classificação de Strahler da rede hidrográfica relativa ao município de Morro do Chapéu.

Cartas 1: 100 000	Nome
1723	Camirim
1724	Umburanas
1725	Mirangaba
1785	Irecê
1786	América Dourada
1787	Jacobina
1833	Rio Palmeiras
1841	Barra do Mendes
1842	Canarana
1843	Morro do Chapéu
1844	Piritiba
1851	Ibitiara
1897	Ouricuri do Ouro

A rede hidrográfica de Morro de Morro do Chapéu subdivide-se por 3 grandes bacias hidrográficas (anexo 6.08), a do Rio São Francisco, a do Rio Paraguassú e a do Rio Itapicuru.

Tendo em conta a impossibilidade de efectuar trabalho de campo que permitisse a medição da largura dos canais, optou-se por, além da fundamental observação dos ortofotomapas, extrapolar os valores obtidos para Mafra, mas à escala 1:200 000. A dificuldade acima enunciada deve-se ao facto de apenas após um período de estadia em Morro do Chapéu, em 2011, ter sido possível estabelecer a metodologia agora proposta, impossibilitando então o necessário e desejável trabalho de campo.

Para ultrapassar esta condicionante, adquiriu-se a carta corográfica de Portugal, à escala 1:100 000, em formato raster, mais concretamente a folha relativa a Mafra, Portugal (Folha 30).

Posteriormente procedeu-se à vectorização da rede hidrográfica, embora relativa apenas à bacia hidrográfica do rio Safarujó, de modo a efectuar uma classificação de *Strahler*. Este procedimento possibilitou uma análise comparativa (Fig. 7.8.) que se julga pertinente, já que permitiu chegar aos valores comparativos destacados na tabela 7.3., os quais naturalmente carecem de validação no terreno.

Tabela 7.3. – Correspondência de valores da largura de canal às escalas 1:25 000 e 1:200 000, para a classificação de *Strahler*.

	Escala: 1:25 000	Escala: 1:200 000
Hierarquia (Strahler)	Largura do canal fluvial	Largura do canal fluvial
1	0,5	4
2	1	8
3	2	16
4	4	32
5	6	48
6	12	96

Importa referir que estes valores são considerados como valores referência, carecendo de ajustes possíveis em qualquer fase da aplicação da metodologia. Através da análise de mapas de base, nomeadamente ortofotomapas, com o ArcGis.10, chegou-se à conclusão que estes valores se aproximam da realidade em Morro do Chapéu.

Esta análise comparativa permitiu também constatar que a rede hidrográfica, apesar de analisada a diferentes escalas, mantém um padrão espacial que, apesar da perda de informação da escala 1:100 000 para a de 1:25 000, possibilita extrapolar essa informação. Assim sendo, os *buffers* relativos à rede hidrográfica do município de Morro do Chapéu foram efectuados com base nos valores extrapolados e referidos na tabela 7.3., procedimento este que julgamos pertinente, embora com as normais condicionantes cartográficas, caso da referida perda de informação.

No que se refere à variável espaços húmidos, presente na cartografia, e tendo em conta que nos atributos da mesma esta diferenciava entre massas de água de lagoa intermitente, de lagoa perene e de barragem e de represa, optou-se pela exclusão das duas últimas da análise, tal como sucedido em Mafra.

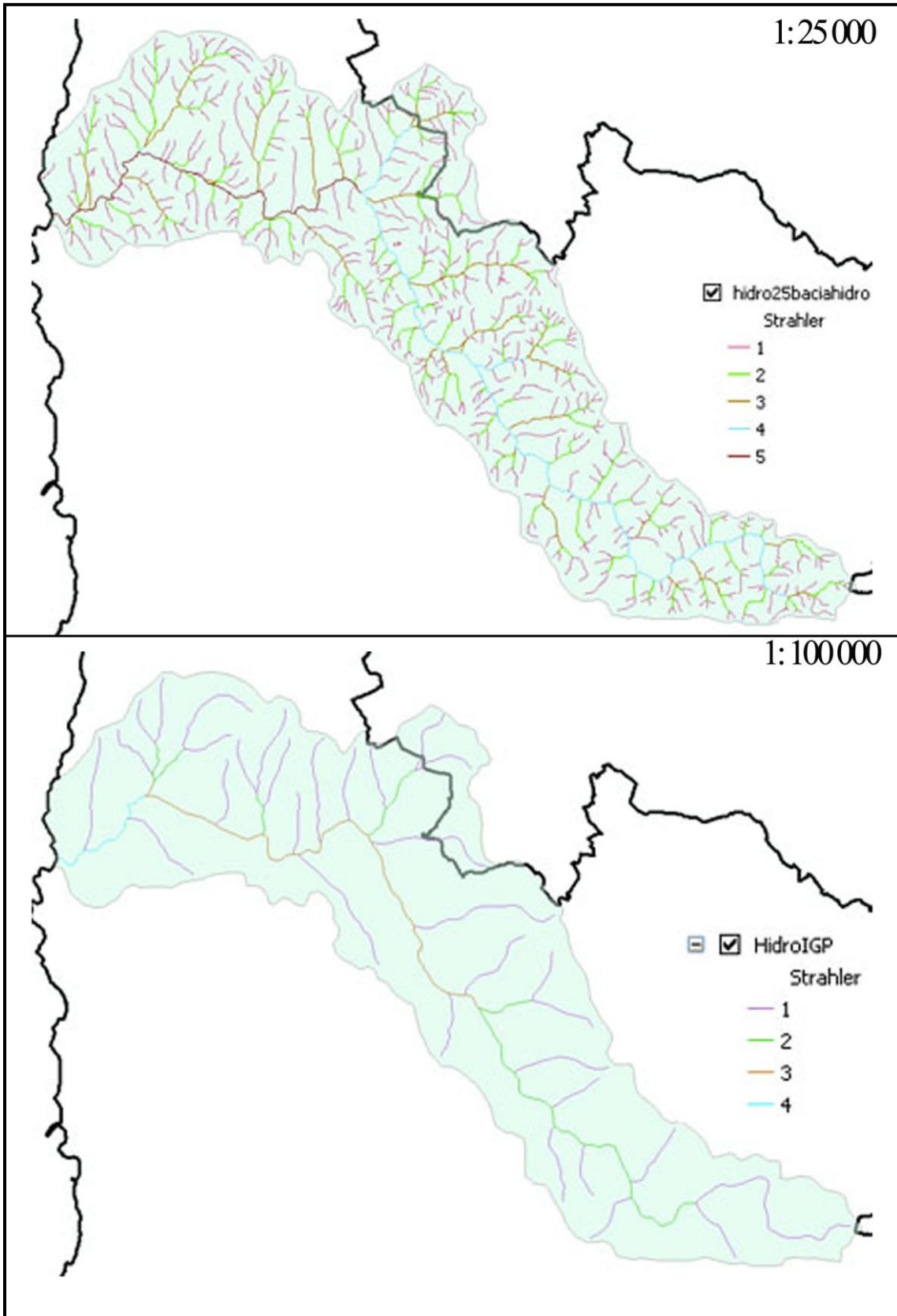


Figura 7.8. – imagens ilustrativas da comparação da rede hidrográfica da bacia do Safaraju, Mafra, classificada segundo Strahler, para as escalas 1:25 000 e 1:100 000.

7.3. Aplicação da metodologia de avaliação quantitativa da geodiversidade

Tendo toda a informação cartográfica vectorial preparada para a modelação espacial, pode então dar-se início à aplicação da metodologia que irá possibilitar a quantificação da geodiversidade nos municípios de Mafra e Morro do Chapéu.

Em termos genéricos, este método (Fig. 7.9.) baseia-se (1) numa sobreposição (*overlay*) de variáveis (*features*), (2) na atribuição de centróides, ou pontos, a cada um dos novos polígonos criados e, (3) por último, numa análise *kernel*, da qual resulta um mapa, em formato *raster*. Este mapa, depois de devidamente reclassificado, possibilita uma leitura acerca da maior ou menor geodiversidade presente num determinado território, sendo a densidade de centróides um índice de geodiversidade.



Figura 7.9. – Figura ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, através das operações de *overlay*, atribuição de centróides aos polígonos gerados e análise *kernel*.

Este método, apesar de baseado inicialmente numa operação de *overlay*, difere de outros já existentes. A diferença baseia-se no facto de algumas das metodologias já existentes se basearem na contagem de variáveis sobrepostas de acordo com um sistema de grelha, ou seja simplesmente o número de variáveis presente numa quadrícula, independentemente da repetição e/ou posição das mesmas nessa mesma quadrícula.

Na metodologia agora proposta, a diferença baseia-se na contagem de pontos gerados, ou centróides, representativos da maior ou menor densidade de variáveis, derivada do *overlay* inicial e respectiva distribuição espacial dos polígonos então gerados. A repetição e posição das variáveis tem importância crucial nesta metodologia, pois não só é importante a existência de variáveis, bem como a sua distribuição numa determinada área. A análise quantitativa da geodiversidade passa também pela análise da distribuição dos elementos da geodiversidade.

7.3.1. Município de Mafra

No que concerne ao município de Mafra, e para a operação inicial de *overlay*, foram utilizadas as seguintes variáveis:

- Rede hidrográfica (335 polígonos);
- Lagoas (12 polígonos);
- Geomorfologia (2103 polígonos);
- Geologia (com e sem filões – 1645 e 648 polígonos, respectivamente);
- Falhas (175 polígonos);
- Solos (1170 polígonos).

Tendo em conta a necessidade de experimentar a metodologia em todo o seu espectro, procederam-se a vários testes, nos quais as variáveis foram utilizadas de forma diferenciada, tendo em conta a sua importância, estruturante ou não. Procedeu-se também a testes diferenciados, na medida em que, tendo em conta a impossibilidade de reclassificar os solos de acordo com os parâmetros da *World Reference Base for Soil Resources* WRB - referência internacional da classificação dos solos, se teve de efectuar testes comparativos que excluem esta variável em possíveis comparações com Morro do Chapéu.

Refere-se também o facto de se ter utilizado a *shapefile* geologia, com e sem filões, de modo a analisar a influência que os filões poderiam ter na análise. Isto advem da grande densidade de filões presente na área de estudo, o que hipoteticamente poderia sobrevalorizar a análise dos mesmos perante as outras variáveis.

Como forma de facilitar a análise, efectuaram-se 7 testes para a área correspondente ao município de Mafra. Destes, os 5 primeiros não eram passíveis de comparação com Morro do Chapéu, dada a inclusão na análise da variável “solo”. Nestes 7 testes utilizaram-se as seguintes variáveis:

1. Rede hidrográfica; Lagoas; Geologia (sem filões); Geomorfologia; Solos;
2. Geologia (sem filões); Geomorfologia; Solos;
3. Rede hidrográfica, Lagoas; Falhas; geologia (com filões), geomorfologia e solos;
4. Rede hidrográfica; Lagoas; Geologia (sem filões); Falhas; Geomorfologia; Solos;
5. Geologia (com filões); Geomorfologia; Solos;
6. Rede hidrográfica; Lagoas; Geologia (com filões); Falhas; Geomorfologia;
7. Rede hidrográfica; Lagoas; Geologia (sem filões); Geomorfologia.

Para cada um dos testes, a metodologia foi igual, dependendo apenas do número de variáveis inseridas.

Tendo como base o teste nº 1, e utilizando o processo conhecido como “*union*”, presente na ferramenta “*overlay*”, inseriram-se na análise as variáveis Rede hidrográfica, Lagoas, Geologia (sem filões), Geomorfologia e Solos. Uma *union* é basicamente uma intersecção geométrica das variáveis utilizadas na análise, da qual resulta um ficheiro, ou *shapefile*, que possui os atributos das variáveis introduzidas e que se sobrepõem. Neste caso, o processo de *overlay* tem como base vectores e não ficheiros *raster*, tal como nas metodologias já referenciadas no 5º capítulo.

Da *union* resultam novos polígonos, os quais decorrem então da sobreposição de todas as variáveis introduzidas. Corresponde a uma área com muitos polígonos, uma elevada diversidade no seio de cada uma das variáveis. Assim, a cada polígono corresponde uma combinação própria das várias variáveis utilizadas, em suma uma ocorrência específica da geodiversidade.

Finalizado este processo, recorre-se a um outro já referenciado, o “*multiparts to singleparts*” (Fig. 7.7.), evitando assim que vários polígonos com os mesmos atributos possam ser considerados como um grupo uno. No caso de haver polígonos já em modo “*singlepart*”, estes não serão afectados, pois o ArcGis.10 reconhece-os. É então criada uma outra *shapefile*.

Segue-se um novo processo, já mais complexo, que passa pela atribuição de pontos, ou centróides, a cada um dos novos polígonos agora gerados. Este processo é baseado a partir da localização dos respectivos polígonos, utilizando para isso o centro representativo de cada um deles. Utiliza-se para isso a função “*feature to point*”, presente na caixa de ferramentas, na *data management tools* e garantindo que o centróide fica localizado no seio do polígono original.

Após o processamento, obtém-se uma nova *shapefile*, a partir da qual se vai efectuar a análise final, de densidade pontual, mais precisamente uma *kernel density*.

Esta análise possibilita o cálculo da magnitude, por unidade de área, a partir dos pontos, utilizando para isso uma função *kernel*, a qual ajusta uniformemente os valores para cada um dos pontos analisados. De acordo com as especificações do ArcGIS.10, o valor registado será maior no local onde nas imediações se situam o maior número de pontos, este está dependente do raio, ou *search radius*, previamente definido e corresponde a uma estatística focal. Este raio pode variar, sendo que no caso de Mafra, o valor referência considerado mais acertado foi de 250 metros. Isto após alguns testes, com raios de 50 metros e 500 metros, respectivamente (Fig. 7.10.). A um raio maior corresponderá uma maior generalização dos valores, havendo então que encontrar um bom compromisso para uma leitura útil dos mapas.

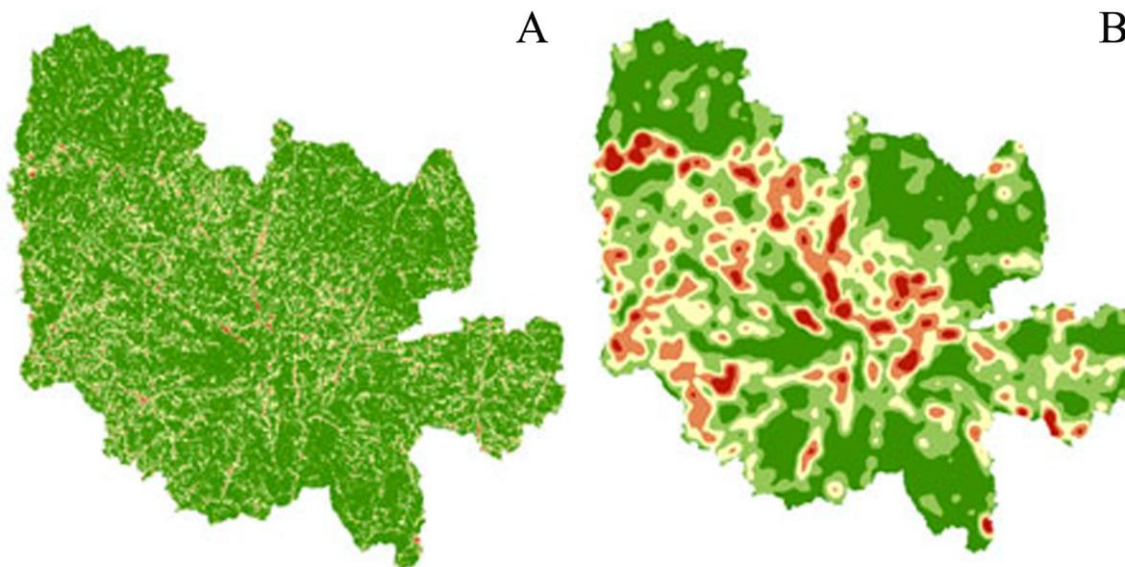


Figura 7.10. – Imagem ilustrativa da utilização de *search radius* com 50 metros (A) e 500 metros (B), respectivamente, para o município de Mafra.

Sobre este ponto há um pormenor que importa salientar, tendo em conta que a análise da informação teve como base apenas a área territorial do município de Mafra e não a sua área adjacente, sem informação contígua aos limites administrativos considerados na análise, torna-se importante concluir que nas áreas limítrofes os valores representados estão distorcidos na medida proporcional ao raio considerado. Considerando o supraexposto, afirma-se que a distorção representa no máximo 50%, valor no limite do município e diminui para o seu interior. Esta distorção será tendencialmente maior onde os limites administrativos apresentam maior regularidade e menor onde são mais irregulares. Ou seja, existe uma evidente distorção, que é maior no ponto correspondente ao limite administrativo e que vai diminuindo até aos 250 metros, para o interior do município, onde a distorção é nula. Esta condicionante é de fácil resolução, já que estendendo esta análise para fora do município de Mafra, até uma distância de 250 metros, esta fica completa e sem distorção alguma. É uma questão transversal em estudos que abrangem áreas específicas, como municípios, mas que em termos conceptuais tem naturalmente resolução. Para a análise *kernel*, há um outro valor a ter em conta, ou seja, a dimensão das células do ficheiro *raster*, já que a análise parte desta base de ensaio. Para o caso de Mafra, optou-se por um *cell size* de 5 metros, o que significa que toda a área foi dividida em células de 5x5 metros. Resumindo, a análise é focada em cada uma das células e tem como raio de pesquisa, ou *search radius*, a distância de 250 metros. Neste espectro, o ArcGIS.10 vai calcular a densidade de pontos para cada uma das células num raio de 250 metros, sabendo que a unidade de área escolhida

para a análise foi na ordem dos km², ou seja pontos por km². No caso de Morro do Chapéu e para possibilitar a comparação com Mafra será também calculada a densidade de pontos por cada 64 km², o que corresponde a uma unidade equivalente numa escala 8 vezes menor.

Note-se que a densidade só poderá ser calculada caso o sistema de coordenadas esteja no sistema de coordenadas métricas, de modo a calcular a densidade de acordo com a área respectiva. No caso de Mafra esta questão não se colocou, apenas no caso de Morro do Chapéu, dado que a cartografia de base tinha associada um sistema de coordenadas geográficas.

Os valores correspondentes são alvo de uma interpolação que, finalizada, possibilita uma fácil visualização dos valores decorrentes. Note-se que a visualização depende de um último passo metodológico, que passa pela reclassificação das classes saídas da análise.

A classificação de informação geográfica pode ser feita de acordo com os vários métodos normalizados possibilitados pelo ArcGIS.10, sendo que neste caso concreto, optou-se por uma classificação de *Jenks*, ou *natural breaks* (Fig. 7.11.), em 5 classes, por forma a que as diferenças entre classes fossem maximizadas, pondo assim em evidência os valores similares e otimizando a leitura do mapa.

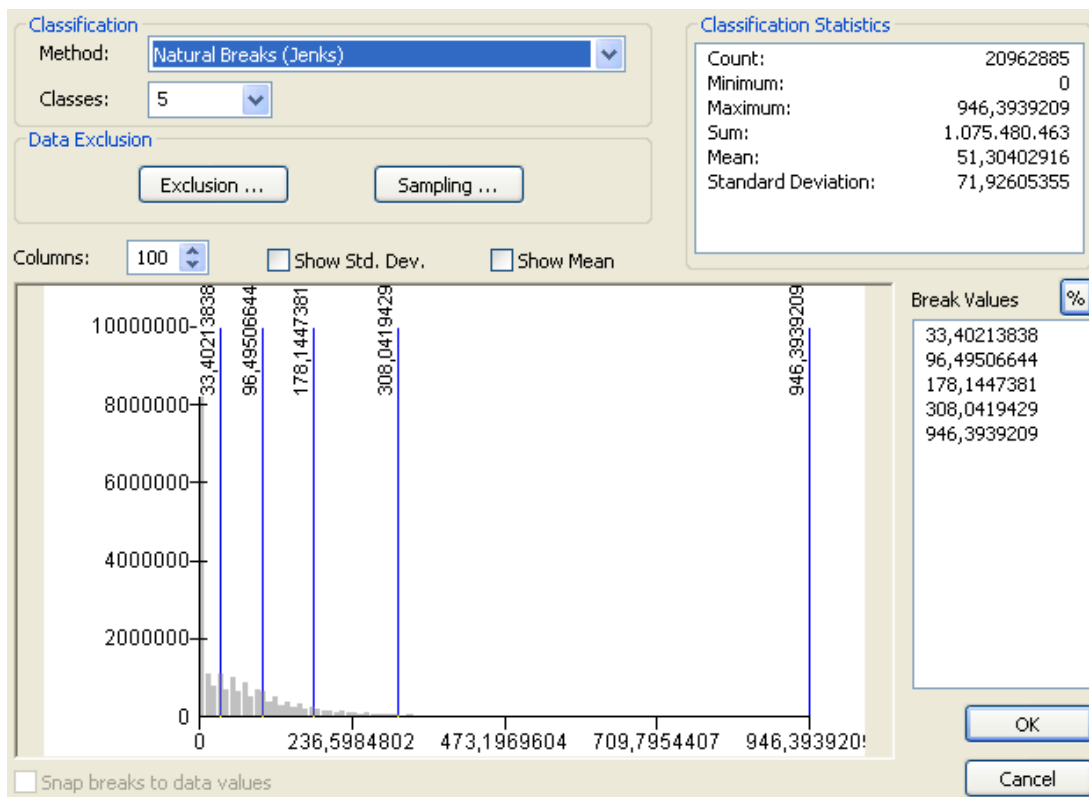


Figura 7.11. – Imagem ilustrativa do processo de reclassificação através do método de Jenks.

De modo a finalizar o mapa, falta apenas efectuar um “*clip*” sobre o ficheiro raster, resultante da análise *kernel*. Tendo em conta o formato raster do ficheiro final, teve de se recorrer a um outro *software* para efectuar o *clip*, ou seja o *Geospatial Modelling Environment*. Este *clip* foi igualmente efectuado tendo como base os limites administrativos (CAOP 2013) do município de Mafra e foi executado para cada um dos ficheiros *raster* resultantes dos 7 testes metodológicos referenciados no início deste sub-capítulo.

7.3.2. Análise dos mapas de índices de geodiversidade de Mafra

Antes mesmo de se proceder à análise dos 7 mapas resultantes da aplicação do método de quantificação da geodiversidade no município de Mafra, apresentam-se duas figuras (Fig. 7.12. e Fig. 7.13.), as quais têm como intuito facilitar uma melhor compreensão do processo de quantificação e dos respectivos resultados em duas áreas diferenciadas, uma com baixos índices de geodiversidade, outra com elevados níveis de geodiversidade.

No primeiro caso (Fig. 7.12.), a análise teve como base uma área próxima ao lugar do Barril, em Mafra. Enquanto que nas imagens C, D, E e F desta figura constam respectivamente, a geologia, a geomorfologia, os solos e a rede hidrográfica, nas imagens A e B constam a análise *kernel density* e o TIN daquela área, o que possibilita a compreensão da forma como o método aplica, no concreto, a sua análise espacial, tendo em conta não só o número de variáveis, bem como a sua distribuição no terreno. Facilmente se constata que as áreas mais dissecadas são as que têm maior índice de geodiversidade, embora baixo. As áreas de topo aplanado são as que representam os menores índices de geodiversidade, tendo também uma menor diversidade geológica, geomorfológica e pedológica. As áreas em branco (Fig. 7.12. - E) correspondem às áreas sociais/urbanas, retiradas da análise por falta de dados sobre os solos.

No segundo caso (Fig. 7.13.), a análise teve como base uma área próxima ao lugar S. Lourenço, igualmente no município de Mafra. Aqui as imagens C, D, E, F, G e H correspondem, respectivamente, à geologia, geomorfologia, solos, rede hidrográfica, falhas e lagoas, sendo que as imagens A e B correspondem à *kernel density* e ao TIN daquela área em particular.

A análise visual permite constatar o facto de esta área ter uma maior diversidade a vários níveis, nomeadamente no domínio da geologia. Este facto reflecte-se naturalmente nos índices de geodiversidade, resultantes da análise *kernel*.

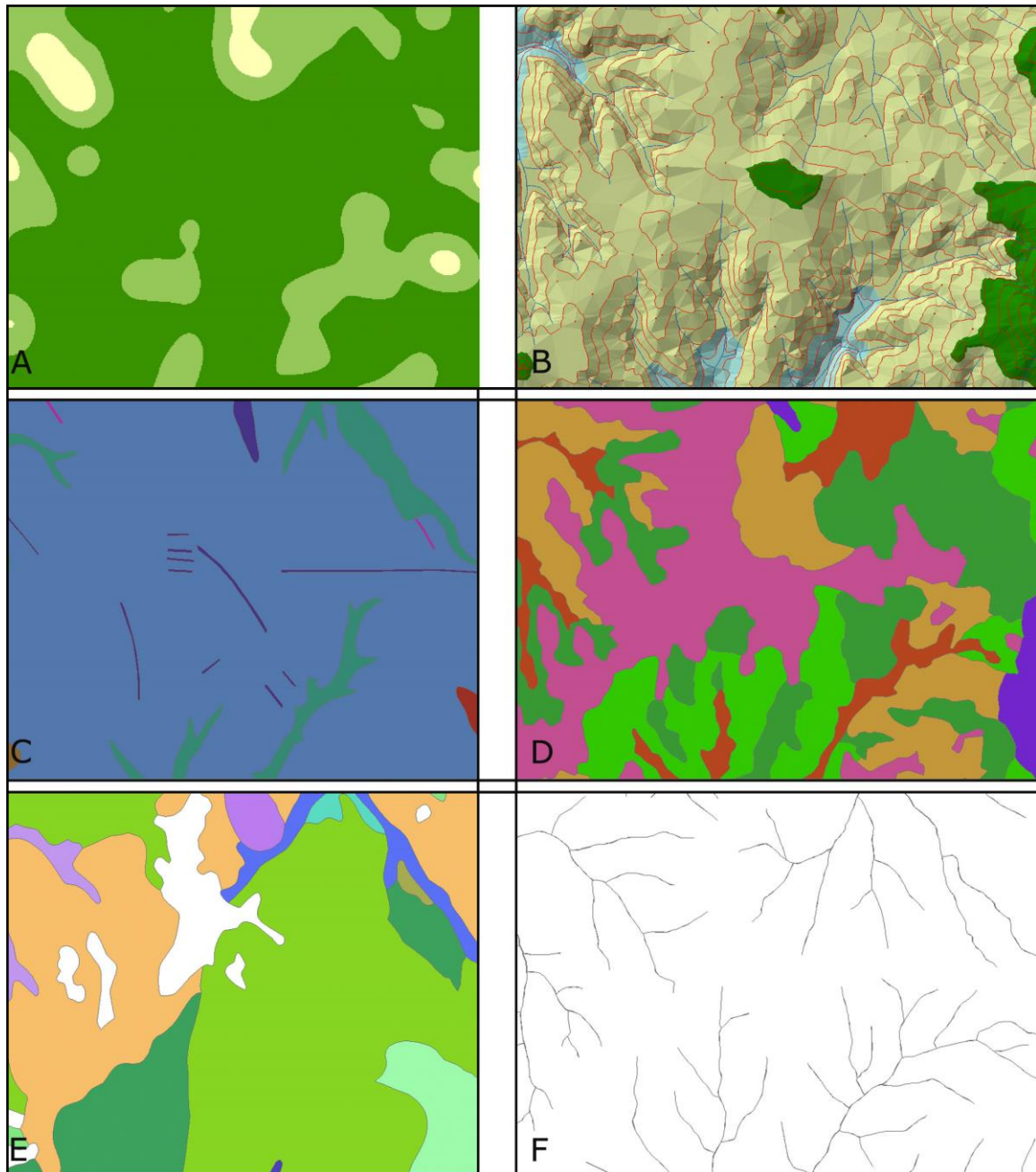


Figura 7.12. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente baixos índices de geodiversidade, numa área proximal ao lugar de Barril, Mafra (A – Kernel density; B – TIN; C – Geologia; D – Geomorfologia; E – Solos; F – Rede hidrográfica).

Os valores de elevada geodiversidade centram-se numa área dissecada pelo rio Safarujo, com vertentes de declives intermédio a acentuado e diversidade geológica assinalável. Salienta-se igualmente o facto de existir uma elevada densidade de filões no sector Oeste, o que tem naturalmente reflexo no índice de geodiversidade (Fig. 7.13.).

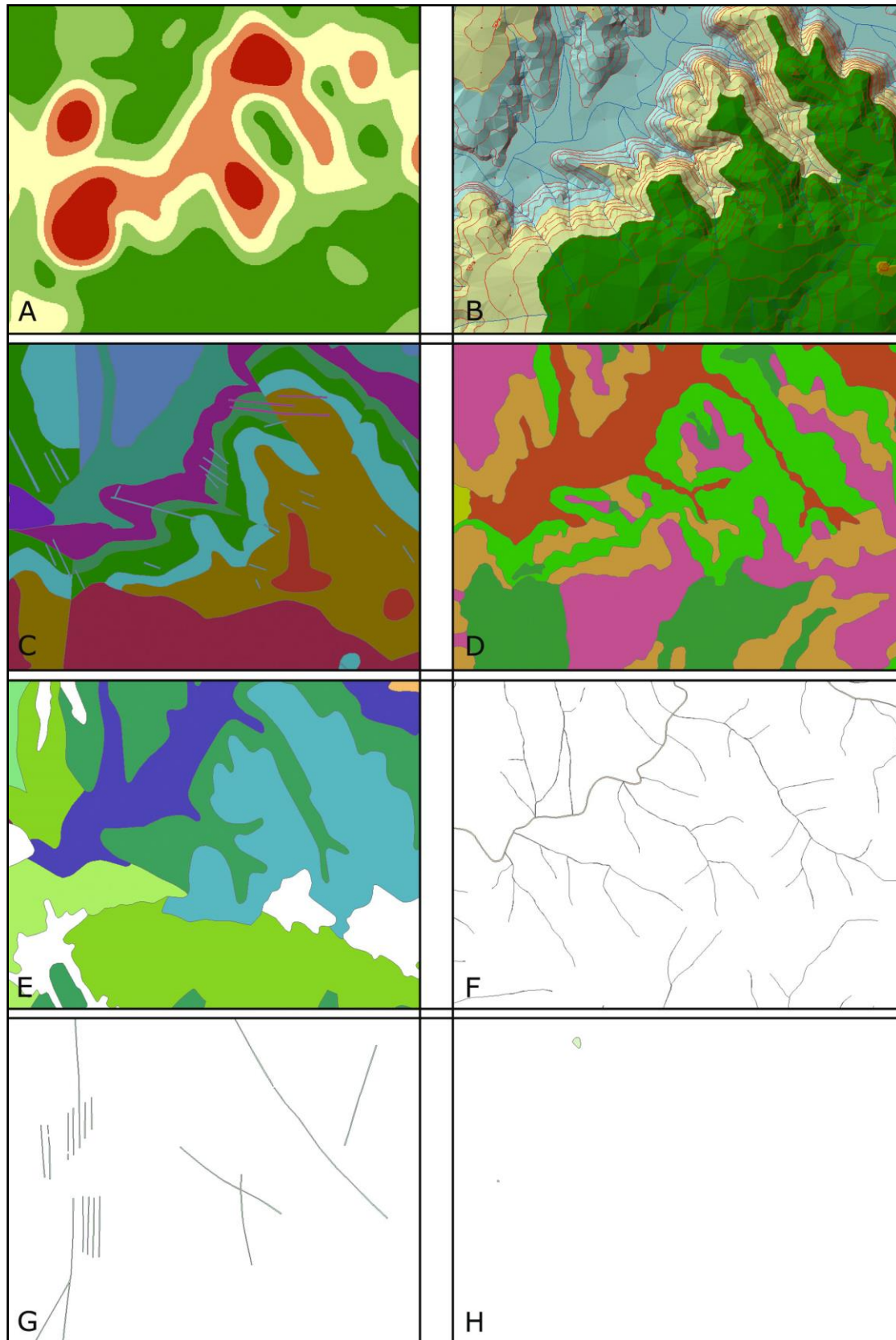


Figura 7.13. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente elevados índices de geodiversidade, numa área proximal ao lugar de S. Lourenço, Mafra (A – Kernel density; B – TIN; C – Geologia; D – Geomorfologia; E – Solos; F – Rede hidrográfica; G – Falhas; H - Lagoas).

Uma hipotética sobrevalorização das falhas não ocorre, na medida que estas mesmas falhas intersectam várias litologias, conduzindo a uma valorização em termos de índice. Cada variável só é valorizada, em termos quantitativos, dependendo do número de sobreposições existentes, daí não se poder falar de uma sobrevalorização, mas sim de uma normal e objectiva valorização, ou seja, a existência de falhas por si só não conduz a um índice mais elevado, mas a sua intersecção com vários polígonos referentes a outras variáveis sim. Portanto só são valorizadas áreas que já são diversas quanto a outras variáveis. Note-se que na segunda figura (Fig. 7.13.), e na imagem G, apesar da existência de várias falhas, este facto não se reflecte por si mesmo no índice de geodiversidade. Compare-se os valores máximos ocorridos nos sectores ocidental e setentrional da imagem A da mesma figura acima referenciada.

Como já foi aliás referido, esta metodologia considera não só o número, bem como a distribuição das variáveis.

Não menos importante é referir desde já o facto de que nesta análise se devem considerar sempre as 3 variáveis determinantes, ou seja, a geologia, a geomorfologia e os solos, podendo, e devendo posteriormente considerar outras mais, como a rede hidrográfica, falhas, entre outras. Caso se exclua uma destas 3 variáveis de primordial importância, e se incluam outras mais, está a criar-se erroneamente uma distorção, em termos de densidade de pontos, que acabará inevitavelmente por enviesar a análise. Como se verá ainda neste sub-capítulo, hipotéticas exclusões podem alterar de modo significativo os resultados, num sentido redutor e parcial, o qual é de evitar numa análise tão relevante também em termos de ordenamento do território.

Relativamente aos 7 mapas de geodiversidade, resultantes do processo de quantificação, na sua fase de testes, e por uma questão de dimensão dos mesmos, estes constam, individualmente, nos anexos. Contudo, e de modo a facilitar a análise, englobaram-se os mapas em duas figuras ilustrativas, através das quais, e de uma forma genérica, se consegue efectuar uma leitura de conjunto, acerca do comportamento dos índices de geodiversidade, dependendo do número e tipo de variáveis consideradas na análise (Fig. 7.15. e Fig. 7.16.).

Numa primeira análise de conjunto, que engloba os 7 mapas representados nas figuras 7.15. e 7.16., a primeira conclusão que se retira é a de que existe um padrão comum a todos os mapas, havendo apenas ligeiras diferenças entre estes. Ou seja, independentemente das variáveis utilizadas, as áreas de maior ou menor geodiversidade são genericamente coincidentes. Através da leitura das respectivas legendas, facilmente se compreenderá que a densidade de pontos é diferente em todos os mapas, embora a paleta de cores seja igual em todos eles.

Através das ferramentas de análise espacial, presentes no ArcGIS.10, procedeu-se a testes estatísticos dos padrões resultantes, de modo a que, através da estatística inferencial, se possa confirmar a hipótese de que os padrões resultantes não são aleatórios. Assim, partiu-se da hipótese nula, que considera não existir concentração espacial das variáveis estudadas.

Na opção “*analysing patterns*”, ou análise de padrões, presente na caixa de ferramentas, utilizou-se a ferramenta inferencial “*high/low clustering*” (Getis-Ord General G) (Fig. 7.14.) em todas as análises. Esta ferramenta mede o grau de concentração, quer para os valores elevados, no caso de valores positivos para o *z-score*, quer para os valores reduzidos, no caso de valores negativos para o *z-score*, utilizando para isso a estatística *Getis-Ord General G*.

A conclusão foi consistentemente a mesma, ou seja, confirma-se a concentração espacial ou *clusters*, o que faz com que a hipótese nula seja rejeitada.

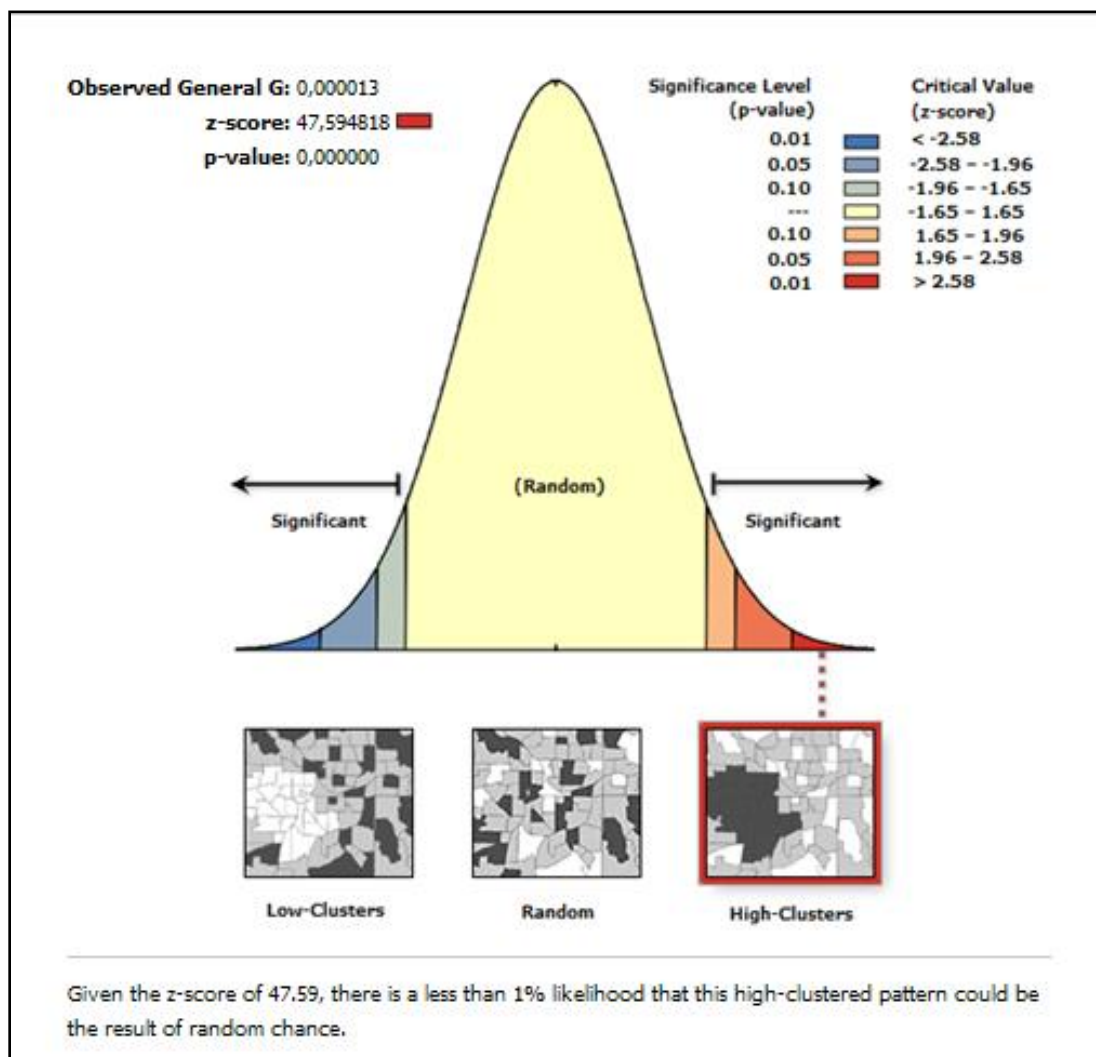


Figura 7.14. – Gráfico decorrente da análise do padrão do mapa clip_nc4 (anexo 7.04), efectuado com a ferramenta high/low neighbor (*Getis-Ord General G*).

Sendo a hipótese nula rejeitada, então o valor do *z-score* ganha interesse redobrado na análise, pois sendo este positivo, quanto maior for o seu valor, maior será a intensidade da concentração dos valores, com um padrão específico, o que valida a análise efectuada. Fica assim demonstrado que os padrões existentes não são aleatórios, sendo que o nível de confiança é de 99% (Fig. 7.14.).

Como já aqui foi referido, não só é importante a existência de uma determinada variável num determinado território, mas também a distribuição da mesma, o que resulta em padrões de geodiversidade diferenciados.

Voltando a uma análise comparativa dos 7 mapas, é notório que o comportamento destes, perante a modelação espacial, fica bem expresso com a inclusão ou exclusão de variáveis. Especificamente é a introdução, ou não, das variáveis rede hidrográfica e falhas, que tem maior influência em termos de pequenas alterações constatadas, nomeadamente entre os mapas clip_nc50 (anexo 7.05) e clip_nc40 (anexo 7.04) ou entre os mapas clip_nc10 (anexo 7.01) e clip_nc20 (anexo 7.02) (Fig. 7.15.).

Entre os mapas clip_nc40 (anexo 7.04) e clip_nc30 (anexo 7.03) as diferenças são quase imperceptíveis, o que seria, em parte, mais do que expectável tendo em conta que a única diferença, em termos de variáveis, era a da utilização da *shapefile* geologia sem filões e com filões, respectivamente.

Entre os mapas clip_nc40 (anexo 7.04) e o clip_nc10 (anexo 7.01) a diferença é que neste último a variável falhas não entrou, o que teve reflexos em termos de densidade de pontos, presente na legenda respectiva, e também em ligeiras alterações ao padrão do primeiro mapa.

Já entre os mapas clip_nc30 (anexo 7.03) e clip_nc10 (anexo 7.01), a diferenciação está na exclusão da variável falhas deste último, o que em termos gráficos fica bem patente no mapa clip_nc30, tendo em conta que se consegue perceber uma tendência rectilínea dos “*hotspots*” ao longo das falhas.

Por outro lado, veremos em seguida a forma como a introdução de um maior número variáveis se reflecte na maior densidade de pontos, através dos quais se efectua a análise *kernel*.

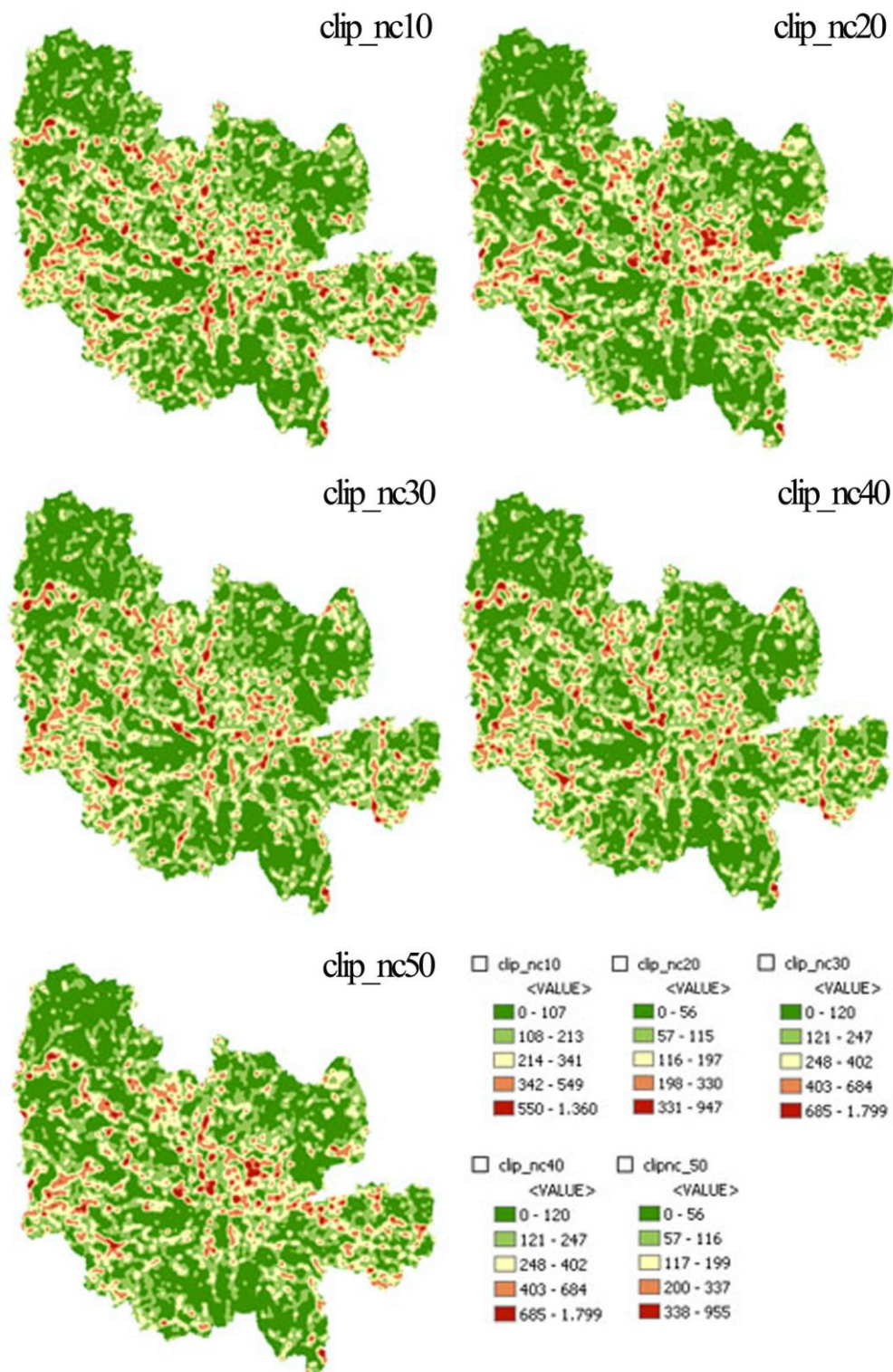


Figura 7.15. – Mapas resultantes de 5 testes realizados no município de Mafra, não comparáveis com Morro do Chapéu, utilizando os primeiros 5 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.1. (**clip_nc10/ Anexo 7.01** – rede hidrográfica, lagoas, geologia (sem filões), geomorfologia e solos; **clip_nc20/ Anexo 7.02** – geologia (sem filões), geomorfologia e solos; **clip_nc30/ Anexo 7.03** – rede hidrográfica, lagoas, falhas, geologia (com filões) e geomorfologia; **clip_nc40/ Anexo 7.04** – rede hidrográfica, lagoas, falhas, geologia (sem filões), geomorfologia e solos; **clip_nc50/ Anexo 7.05** – geologia (com filões), geomorfologia e solos).

O uso das variáveis rede hidrográfica, lagoas, falhas, geologia (com filões), geomorfologia e solos (clip_nc30/ Anexo 7.03 - rede hidrográfica, lagoas, falhas, geologia (com filões) e geomorfologia) evidencia, relativamente ao modelo mais simples (clip_nc20/ Anexo 7.02 - geologia (sem filões), geomorfologia e solos) a duplicação da densidade de pontos (mais 54 pontos por unidade de área). Por seu lado, na classe superior, a diferença embora não seja o dobro da primeira, representa um acréscimo de mais 852 pontos por unidade de área (km²), face ao clip_nc20 (anexo 7.02).

O segundo grupo de mapas (Fig. 7.16.) é passível de comparação com outras áreas (Morro do Chapéu), dada a exclusão da variável solos. Os dois mapas (anexos 7.06 e 7.07) apresentam padrão semelhante aos mapas da figura 7.15., pois a única alteração introduzida está na densidade de pontos e não de padrões.

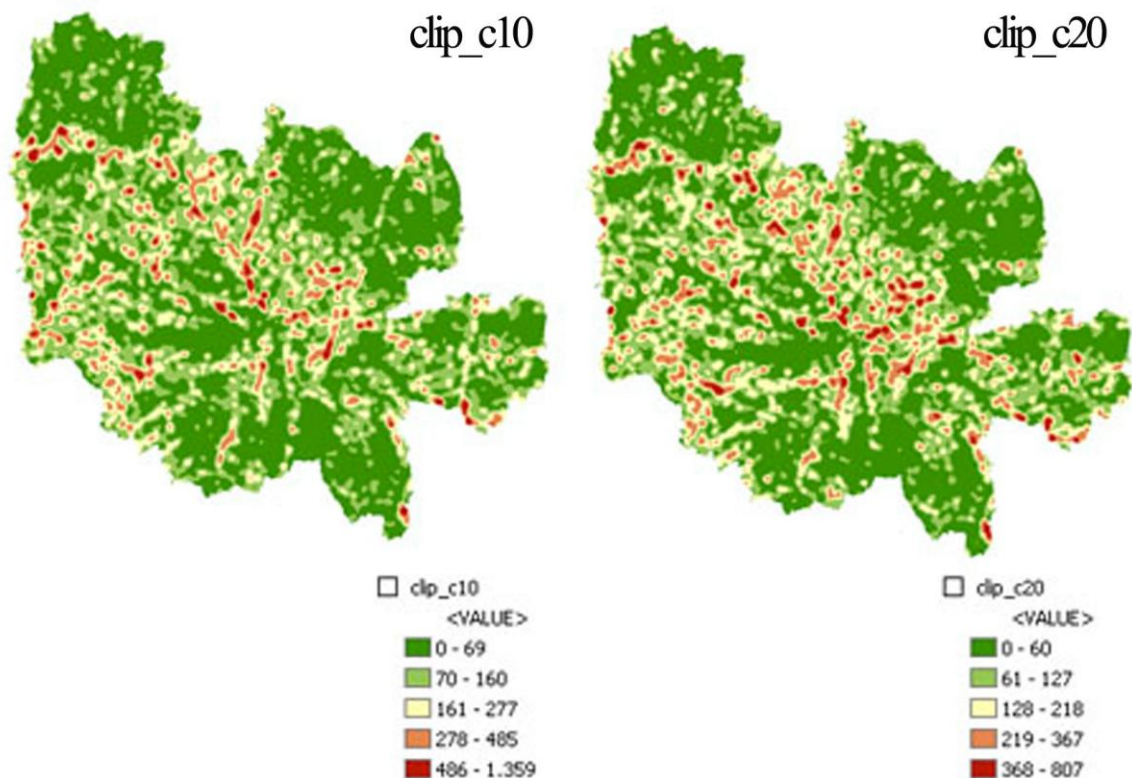


Figura 7.16. – Mapas resultantes de 2 testes, comparáveis com Morro do Chapéu, utilizando os últimos 2 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.1. (clip_c10/ Anexo 7.06 – rede hidrográfica, lagoas, geologia (com filões), falhas, geomorfologia; clip_c20/ Anexo 7.07 – rede hidrográfica, lagoas, geologia (sem filões), falhas, geomorfologia).

A exclusão das variáveis falhas e filões reflecte-se na menor densidade de pontos do mapa clip_c20 (Fig. 7.16.; anexo 7.07).

Nos primeiros testes, que precederam esta análise final, detectou-se que, utilizando apenas as variáveis geologia e geomorfologia, já era possível estabelecer um padrão base, o qual vai evoluindo, em termos de pormenor, com a entrada de novas variáveis. Assim, consideramos que, utilizando as variáveis estruturantes geologia, geomorfologia e solos, é possível discernir um padrão base para toda a área em análise. O uso de outras variáveis não altera significativamente o padrão base, mas introduz mais pormenor e acuidade ao modelo.

De modo a que possa compreender a ordem de grandeza, em termos de pontos ou polígonos associados a cada um dos mapas, apresentam-se os valores respectivos:

- Rede hidrográfica, lagoas, geologia (sem filões), geomorfologia e solos - **51889 polígonos/pontos** (Fig. 7.15., Clip_nc10 – anexo 7.01);
- Geologia (sem filões), geomorfologia, solos - **27473 polígonos/pontos** (Fig. 7.15., Clip_nc20 – anexo 7.02);
- Rede hidrográfica, lagoas, falhas, geologia (com filões), geomorfologia, solos - **57323 polígonos/pontos** (Fig. 7.15., Clip_nc30 – anexo 7.03);
- Rede hidrográfica, lagoas, geologia (sem filões), falhas, geomorfologia, solos - **57297 polígonos/pontos** (Fig. 7.15., Clip_nc40 – anexo 7.04);
- Geologia (com filões), geomorfologia, solos - **27499 polígonos/pontos** (Fig. 7.15., Clip_nc50 – anexo 7.05);
- Rede hidrográfica, lagoas, geologia (com filões), falhas, geomorfologia - **32921 polígonos/pontos** (Fig. 7.16., Clip_c10 – anexo 7.06);
- Rede hidrográfica, lagoas, geologia (sem filões), geomorfologia - **28688 polígonos/pontos** (Fig. 7.16., Clip_c20 – anexo 7.07).

Os valores atrás referidos são relativos aos pontos/polígonos associados a cada um dos mapas e ajudam a perceber a influência de cada variável quanto ao incremento do número total de polígonos. Tome-se por exemplo a rede hidrográfica, pois a entrada desta variável quase que duplica o número de polígonos em todos os mapas em que é considerada (Fig. 7.15. - clip_nc10, clip_nc30 e clip_nc40). Por outro lado, a variável “lagoas” é menosprezável por corresponder apenas 12 polígonos e, portanto, gerar incrementos na mesma ordem de grandeza.

Assim, da análise realizada no município de Mafra, concluímos que um maior número de polígonos representa maior precisão em termos de análise quantitativa da geodiversidade. Contudo, com um número relativamente reduzido de polígonos, consegue-se ter um padrão base que possibilita descortinar com bom pormenor a distribuição espacial da geodiversidade.

7.3.3. Município de Morro do Chapéu

Para o município de Morro do Chapéu, efectuaram-se os mesmos procedimentos referidos para Mafra, (7.3.1). As variáveis utilizadas foram:

- Rede Hidrográfica (50 polígonos);
- Lagoas (22 polígonos);
- Geomorfologia – Formas similares - Taxon 3 (239 polígonos)
- Geomorfologia – Formas similares subdivisão - Taxon 3 (489 polígonos);
- Dolinas (89 polígonos);
- Geologia (203 polígonos);
- Falhas (339 polígonos);
- Solos (279 polígonos).

Na análise da variável geomorfologia, e tendo em conta que a cartografia pré-existente do Projecto Mapas Municipais – Município de Morro do Chapéu, BA (Rocha & Costa, 1995) não estava classificada em concordância com o método de Ross (1992), optou-se pela utilização de informação associada e pela desagregação de sub-unidades, estas já passíveis de comparação com realidades distintas.

Deste modo, e tendo em conta a adequação da classificação do relevo ao método de Ross (1992), presente nos atributos da cartografia geomorfológica, procedeu-se à sua reclassificação pelo agrupamento de formas similares (anexo 6.06):

- Relevos aplanados (P);
- Relevos dissecados (D);
- Relevos com controle estrutural (E);
- Relevos desenvolvidos a partir de rochas calcárias (C);
- Relevos originados devido à acumulação fluvial (A).

A dimensão dos polígonos obtidos, e o seu significado é compatível com o 3º nível taxonómico (Ross, 1992), sendo assim exequível para comparação. Destaca-se também o facto dos atributos da cartografia original possibilitarem ainda uma subdivisão destas formas similares:

- P1 – Relevo plano com declives de 0 a 3% e formações superficiais espessas;
- P2 – Relevo plano com declives inferiores a 5%, esboçando rampas suavizadas com formações superficiais profundas a rasas;
- D1 – Superfície levemente dissecada em rampas e lombadas com declives entre 5 e 8%;
- D2 – Lombadas e colinas de topos convexizados com declives entre 3 e 8% e vertentes com 8 a 20% de declive;
- D3 – Vales abertos de fundo plano com vertentes de declives entre 3 e 6% sujeitos a inundações periódicas;
- D4 – Vales geralmente de fundo plano, com encostas convexizadas de declives entre 8 e 30%;
- D5 – Vertentes de formas convexas com declives entre 10 e 30%, representando, na maioria das vezes, os talús;
- Vales em forma de V, com ou sem fundo plano, encostas de declives entre 8 e 25% com presença de sulcos e ravinas;
- E1 – Superfície irregular ruiforme e rochosa com declives entre 10 e 45%;
- E2 – Superfície aplainada, com rochosidade, pedregosidade e declives entre 2 e 8%;
- E3 – Facetas triangulares de camadas com caimento para oeste, escarpas e superfície irregular rochosa com declives que variam entre 8 e 45%;
- E4 – Escarpas rochosas com declives superiores a 45% associados a vertentes menos íngremes;
- E5 – Superfície levemente dissecada em rampas com declives entre 1 e 6% e formação superficial predominantemente arenosa associada a afloramentos de rochas;
- C1 – Superfície plana a levemente dissecada em rampas com declives entre 0 a 4% e formações superficiais resultantes da alteração das rochas calcárias;

- C2 – Superfície plana a levemente dissecada em rampas com declives inferiores a 5% e formações superficiais geralmente de origem alóctone sobre rochas calcárias;
- C3 – Rampas e lombadas com declives entre 3 e 8% em áreas cársticas;
- C4 – Colinas, morros e escarpas calcárias com declives entre 10 e 30%;
- C5 – Vales em superfícies cársticas com fundo plano e encostas com declives entre 10 e 25%;
- Af – Área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, com declives de 0 e 3%;
- Aa – Área abaciada com declives de 0 a 2%.

Ambas as classificações foram utilizadas na análise, a primeira (formas similares - nível 3) passível de comparação com Mafra, e a segunda (formas similares, subdivisão do nível 3) não passível de comparação com Mafra.

Tendo em conta os factos até agora enunciados, procedeu-se a testes metodológicos que visaram explorar a informação em todo o seu espectro. Note-se que também aqui o uso da variável solos está condicionado para comparações, dada a impossibilidade de efectuar uma reclassificação para WRB.

Efectuaram-se 6 testes metodológicos para a área correspondente ao município de Morro do Chapéu. Destes, os primeiros 4 não são passíveis de comparação com Mafra, dada a inclusão da variável “solo”. Nestes 6 testes, utilizaram-se as seguintes variáveis:

1. Rede hidrográfica; lagoas; dolinas; geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos;
2. Lagoas; geomorfologia (subdivisão do nível 3); geologia; solos; dolinas;
3. Rede hidrográfica; lagoas; falhas; dolinas; geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos;
4. Geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos;
5. Lagoas; rede hidrográfica; falhas; dolinas; geologia; geomorfologia (nível 3);
6. Lagoas; rede hidrográfica; dolinas, geologia; geomorfologia (nível 3).

A metodologia aplicada foi igual em todos os testes, dependendo apenas do número de variáveis inseridas, tal como em Mafra. Ou seja iniciou-se com uma “union”, seguida dos passos “multiparts to singleparts” (Fig. 7.7.) e “feature do point”. É importante considerar que, no caso de Morro do Chapéu, a cartografia original possui coordenadas geográficas, tendo que se transformar as mesmas em coordenadas métricas, de modo a ser possível efectuar a análise *kernel*. Antes mesmo de proceder à *kernel density*, efectuou-se a devida correspondência das medidas da *cell size* e do *search radius*, tendo como base a escala 1:25 000 e a devida correspondência à escala 1:200 000. Transpondo então as respectivas medidas, obteve-se uma medida de 40 metros para o output *cell size*, enquanto que para o *search radius*, ou raio, a medida resultante foi de 2000 metros.

Salienta-se o facto de que a cartografia cedida pelos Serviços Geológicos do Brasil (CPRM) englobava apenas a área relativa ao município de Morro do Chapéu, pormenor que condicionou a análise nas áreas adjacentes aos limites administrativos, onde existe a já referenciada distorção.

Efectuada a *kernel density*, e já com a reclassificação (*Jenks*) efectuada, obtiveram-se as 5 classes, tal como para Mafra. Finalizou-se o processo com um “clip” efectuado com o *Geospatial Modelling Environment* (Fig. 7.17.). Este *clip* foi efectuado com base nos limites administrativos do município de Morro do Chapéu e foi executado para cada um dos ficheiros *raster* resultantes dos 6 testes metodológicos respectivos.

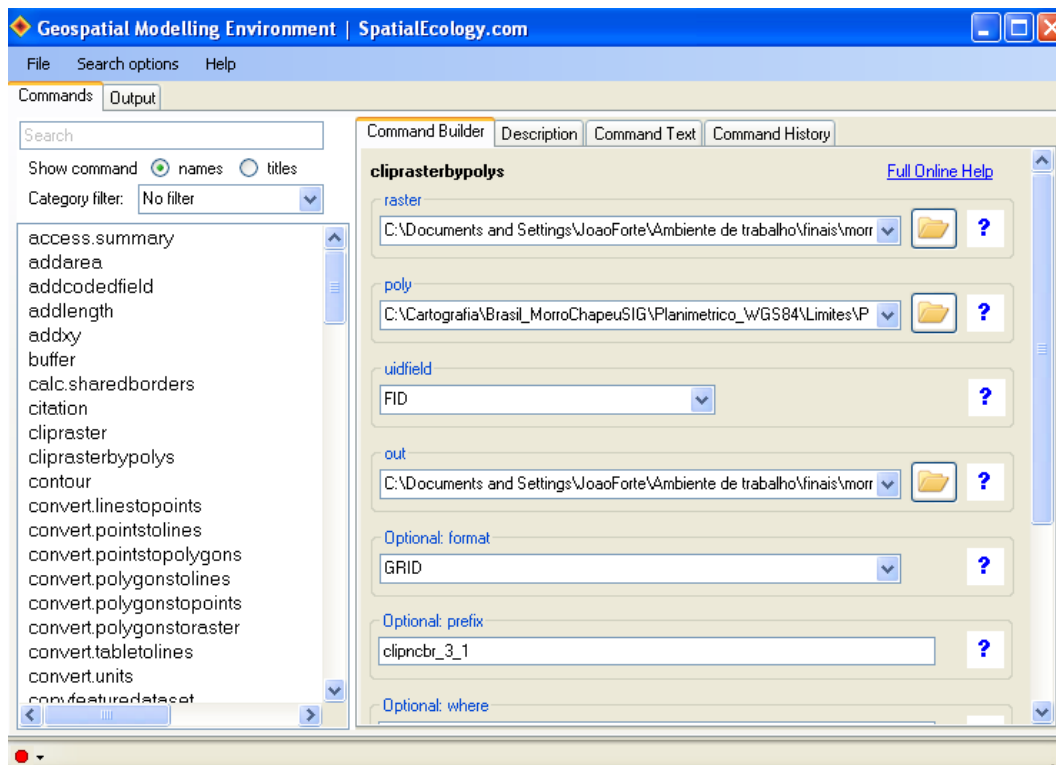


Figura 7.17. – Imagem ilustrativa do processo “clip”, através do *Geospatial Modelling Environment*.

7.3.4. Análise dos mapas de índices de geodiversidade de Morro do Chapéu

Antes de se proceder à análise dos 6 mapas resultantes da aplicação da metodologia proposta a Morro do Chapéu, apresentam-se duas figuras (Fig. 7.18. e Fig. 7.19.), de forma possibilitar uma melhor percepção sobre o método aplicado a uma área com baixos índices de geodiversidade e a uma área com elevados níveis de geodiversidade.

No primeiro caso (Fig. 7.18.), a análise teve como base uma área de planalto, situada a Este da cidade de Morro do Chapéu. Enquanto que nas imagens B, C, D e E desta figura constam, respectivamente, a geologia, a geomorfologia, os solos e a rede hidrográfica, na imagem A consta a análise *kernel density*. Como se pode observar nas imagens B, C e D, ocorre uma sobreposição de 3 polígonos, os quais têm limites muito semelhantes, o que acaba por ter reflexos a nível de índice de geodiversidade. Importa referir que este tipo de situações pode naturalmente suscitar a dúvida sobre o real limite dos polígonos. No entanto, essa questão extravasa o âmbito deste trabalho, o qual se fundamenta na utilização de cartografia pré-existente e, para todos os efeitos, considerada válida. No entanto, e em caso de deficiência na cartografia, há a possibilidade de corrigir algum tipo de erro, nomeadamente aquele conhecido por “*sliver polygons*”, ou seja polígonos que representem faixas adjacentes, não correspondentes ao ocorrido no terreno. A análise confirmou que, a haver erros desse tipo, o grau de perturbação será perfeitamente menosprezável.

Os 3 polígonos referenciados possibilitam igualmente uma melhor compreensão acerca do comportamento das variáveis em função da sua distribuição espacial no terreno. Este método considera não só a existência de uma determinada variável, mas também a sua distribuição no terreno, o que possibilita uma análise mais assertiva acerca da geodiversidade. Outras metodologias (Hjort & Luoto, 2010), consideram os 3 polígonos apenas como uma só ocorrência, não considerando assim a sua distribuição e a sua real existência.

No segundo caso (Fig. 7.19.), a análise foi efectuada numa área situada a sudoeste da cidade de Morro do Chapéu. Aqui as imagens B, C, D e E correspondem respectivamente à geologia, geomorfologia, solos e rede hidrográfica, sendo que a imagem A corresponde à *kernel density*. Uma breve análise desta área, onde se destacam três sectores com um índice de geodiversidade elevado, permite observar não só um maior número de variáveis associado aos mesmos sectores, bem como uma distribuição das variáveis de forma mais heterogénea, o que resulta num índice de geodiversidade mais elevado. Este facto é mais perceptível no sector com maior área em termos de elevado índice de geodiversidade, situado a Oeste (Fig. 7.19., imagem A).

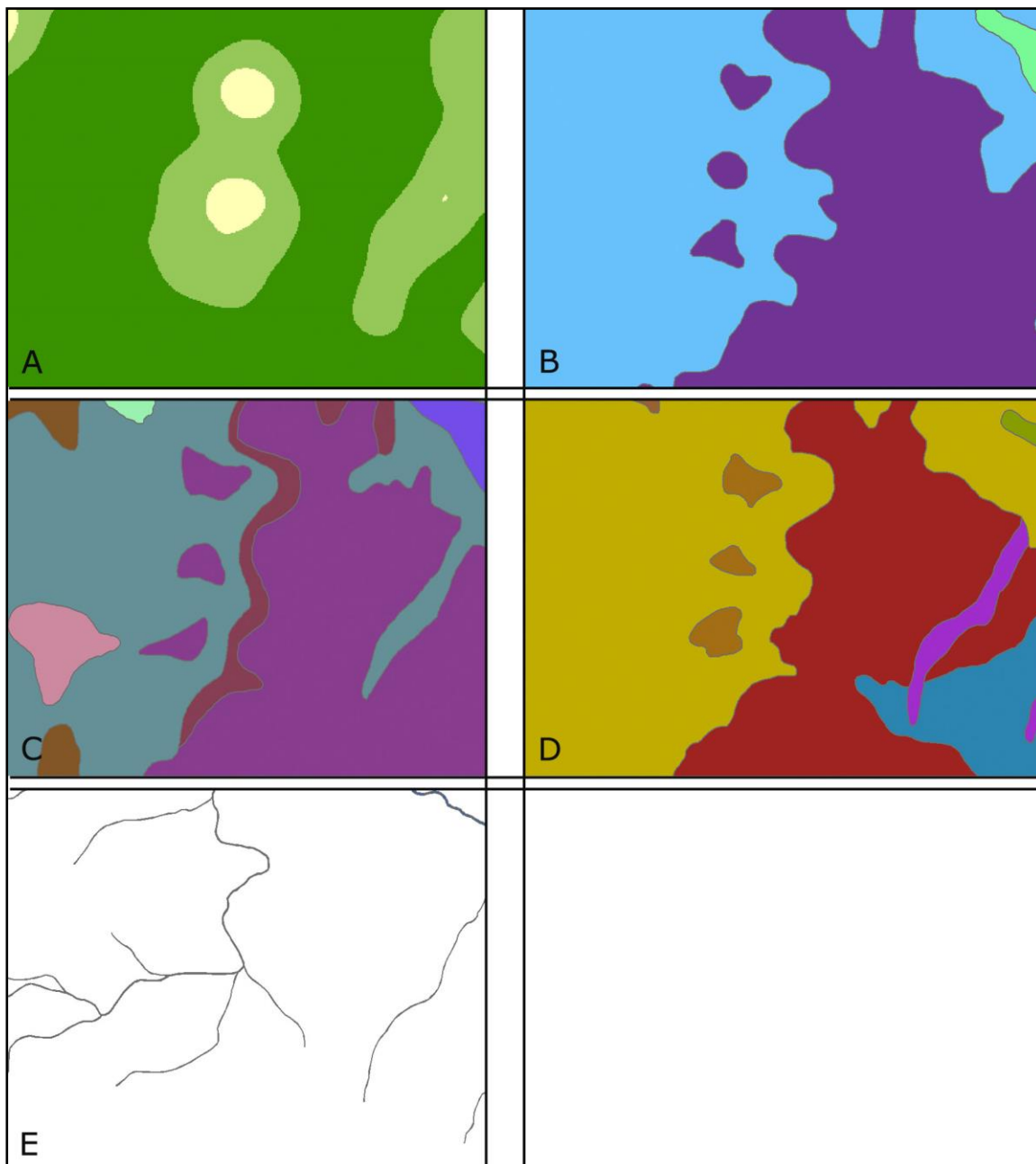


Figura 7.18. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente baixos índices de geodiversidade, numa área situada a SE da cidade de Morro do Chapéu (A – Kernel density; B – geologia; C – geomorfologia; D – solos; E – Rede hidrográfica).

Ainda em relação à figura 7.19., a leste é evidente o baixo índice de geodiversidade, devido à baixa diversidade geológica e pedológica. Como se pode constatar, é notória a influência não só do número de variáveis, mas também da sua distribuição espacial.

Os 6 mapas teste de geodiversidade de Morro do Chapéu, resultantes do processo de quantificação, por uma questão de dimensão dos mesmos, constam nos anexos (anexos 7.09;

7.10; 7.11; 7.12; 7.13; 7.14). Tal como no caso de Mafra, apresentam-se duas figuras (Fig. 7.21. e Fig. 7.22.) que permitem uma leitura de conjunto.

Numa primeira análise do conjunto de mapas, a primeira conclusão que se retira é a de que existe mais do que um padrão. Os mapas clipncbr_10, clipncbr_20 e clipncbr_40 (Fig. 7.21.) apresentam o mesmo padrão base, com algumas variações de pormenor. Já no que se refere ao mapa clipncbr_30 (Fig. 7.21.), o padrão altera-se significativamente devido à introdução da variável “falhas”. A elevada densidade de falhas conjugada com a monotonia das restantes variáveis, reflecte-se no elevado número de polígonos associados exclusivamente a falhas (339).

No caso de Morro do Chapéu, e comparativamente com Mafra, o número de polígonos associados a cada um dos mapas é significativamente inferior, facto relacionado com o menor pormenor da escala 1:200 000 relativamente à escala 1:25 000.

Apresentam-se os valores relativos a Morro do Chapéu, os quais mostram a significativa diferença em termos de ocorrência de pontos/polígonos, decorrentes da operação de *overlay*.

- Rede hidrográfica; lagoas; geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos – **6385 polígonos/pontos** (Fig. 7.21., Clipncbr_10 – anexo 7.09);
- Lagoas; geomorfologia (subdivisão do nível 3); geologia; solos; dolinas - **3414 polígonos/pontos** (Fig. 7.21., Clipncbr_20 – anexo 7.10);
- Rede hidrográfica; lagoas; falhas; dolinas; geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos - **11725 polígonos/pontos** (Fig. 7.21., Clipncbr_30 – anexo 7.11);
- Geologia; geomorfologia (subdivisão do nível 3); solos - **3152 polígonos/pontos** (Fig. 7.21., Clipncbr_40 – anexo 7.12);
- Lagoas; rede hidrográfica; falhas; dolinas; geologia; geomorfologia (nível 3) - **5428 polígonos/pontos** (Fig. 7.22., Clipcbr_10 – anexo 7.13);
- Lagoas; rede hidrográfica; dolinas; geologia; geomorfologia (nível 3) - **1671 polígonos/pontos** (Fig. 7.22., Clipcbr_20 – anexo 7.14).

Através da análise do número de polígonos/pontos associados a cada um dos mapas, pode perceber-se, em termos de densidade, a duplicação do número de polígonos/pontos entre os mapas clipncbr_10 e clipncbr_30, apenas através da introdução da variável “falhas” neste último. Note-se que, no restante, ambos os mapas partilham as mesmas variáveis. Este facto altera não

só a densidade de pontos, o que por si mesmo não é problemático, mas também o padrão base, a favor de uma variável, o que prova a sua sobrevalorização.

No caso de Mafra esta sobrevalorização não ocorreu, dada a grande densidade de pontos. Contudo, em Morro do Chapéu a densidade de pontos, por unidade de área, é muito inferior, o que, tal como demonstrado, pode levar a distorções do padrão base.

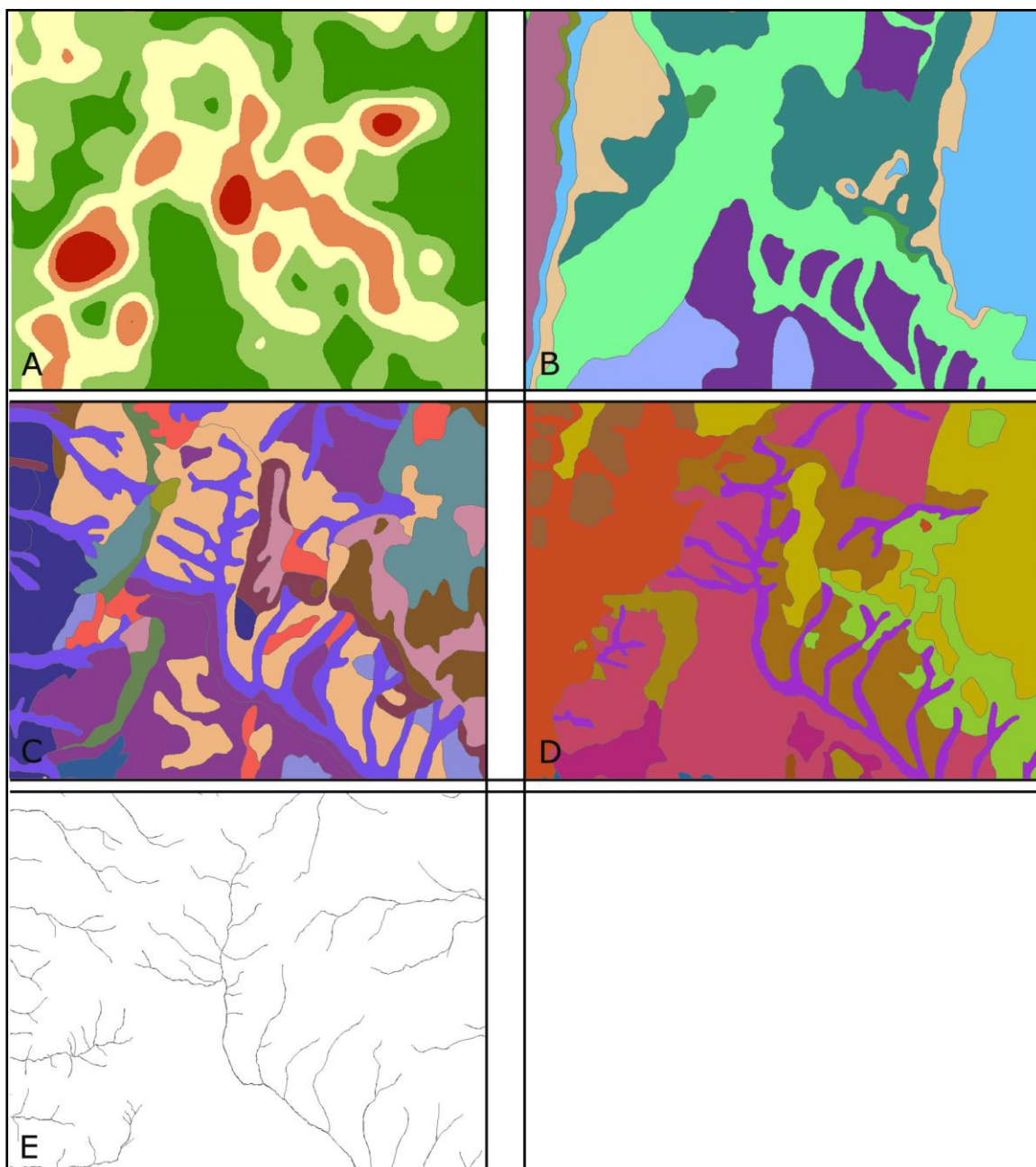


Figura 7.19. – Imagem ilustrativa do processo de quantificação da geodiversidade, aplicado a uma área que apresenta predominantemente elevados índices de geodiversidade, numa área situada a SO da cidade de Morro do Chapéu (A – Kernel density; B – Geologia; C – Geomorfologia; D – Solos; E – Rede hidrográfica).

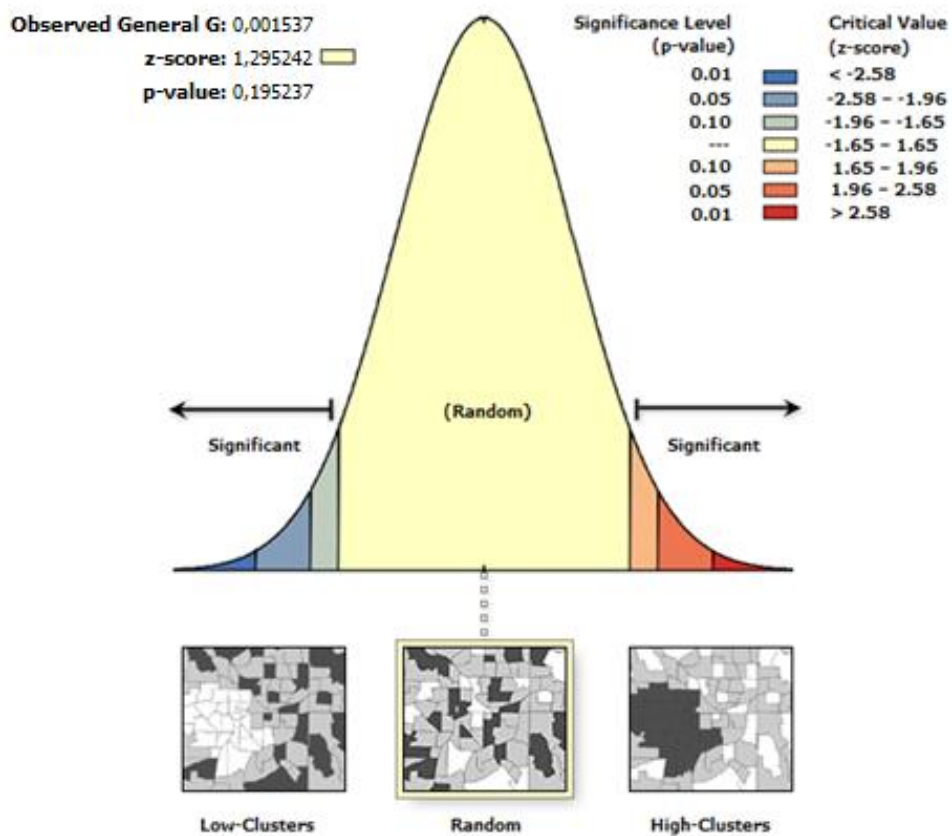
A constatação deste último facto permite-nos discutir o comportamento das variáveis a escalas diferenciadas, sendo que uma mesma variável se pode comportar de forma muito diferenciada em função da densidade de polígonos/pontos. Torna-se fundamental compreender bem o comportamento das variáveis, sob o risco de se introduzir todo um conjunto de variáveis numa modelação que, no final, não representa as áreas com maior ou menor geodiversidade, como demonstra, em certa medida, o clipncbr_30 (Fig. 7.21.; anexo 7.11).

Contudo, e tal como se pode observar através dos mapas clipncbr_10, clipncbr_20 e clipncbr_40 (Fig. 7.21.), uma baixa densidade de pontos não significa por si mesmo resultados pouco consistentes. Já uma densidade de pontos superior não significa por si mesmo resultados consolidados, tal como demonstra o mapa clipncbr_30 (anexo 7.11). Assim, reconhece-se a importância de compreender bem o comportamento de cada uma das variáveis, de modo a efectuar uma análise o mais objectiva possível.

À semelhança de Mafra, procedeu-se a testes estatísticos dos padrões presentes nos respectivos mapas, através da ferramenta “*high/low clustering*” (*Getis-Ord General G*). Para o primeiro conjunto de mapas (Fig. 7.21.), e mais concretamente para o mapa clipncbr_40, o valor do *z-score* foi de 15,265, o que significa que a probabilidade do padrão ser fruto de uma ocasião aleatória é inferior a 1%.

No entanto, e já relativo ao segundo conjunto de mapas (Fig. 7.22.), e em especial para o mapa clipncbr_20, o valor do *z-score* foi de 1,295 (Fig. 7.20.), dado que indicia que o padrão não é específico, dificultando assim a análise. Neste, as óbvias aglomerações, ou *clusters*, já não são tão óbvias. Isto decorre do que atrás já foi referido e também da exclusão, neste segundo conjunto de mapas, da variável solo, de forma a permitir a posterior comparação com o segundo conjunto de mapas de Mafra (Fig. 7.16.).

A análise do segundo conjunto de mapas de Morro do Chapéu (Fig. 7.22.) demonstra que a exclusão da variável solos conduz a mudanças nos padrões de distribuição espacial dos resultados. Ao contrário de Mafra, aparentam ser inconsistentes com o restante conjunto, o que evidencia perda de algum rigor na sua utilização para comparações. Qualquer análise efectuada através desta metodologia só será válida caso considere a geologia, a geomorfologia e os solos, podendo ser complementada com outras variáveis, caso daquelas aqui utilizadas, ou de outras mais, consideradas pertinentes conforme a abordagem pretendida. Sendo possível reclassificar os solos, de acordo com a WRB, será também viável efectuar comparações entre Mafra e Morro do Chapéu.



Given the z-score of 1.30, the pattern does not appear to be significantly different than random.

Figura 7.20. – Gráfico decorrente da análise do padrão do mapa clipcbr_20, efectuada com a ferramenta *high/low neighbor* (Getis-Ord General G).

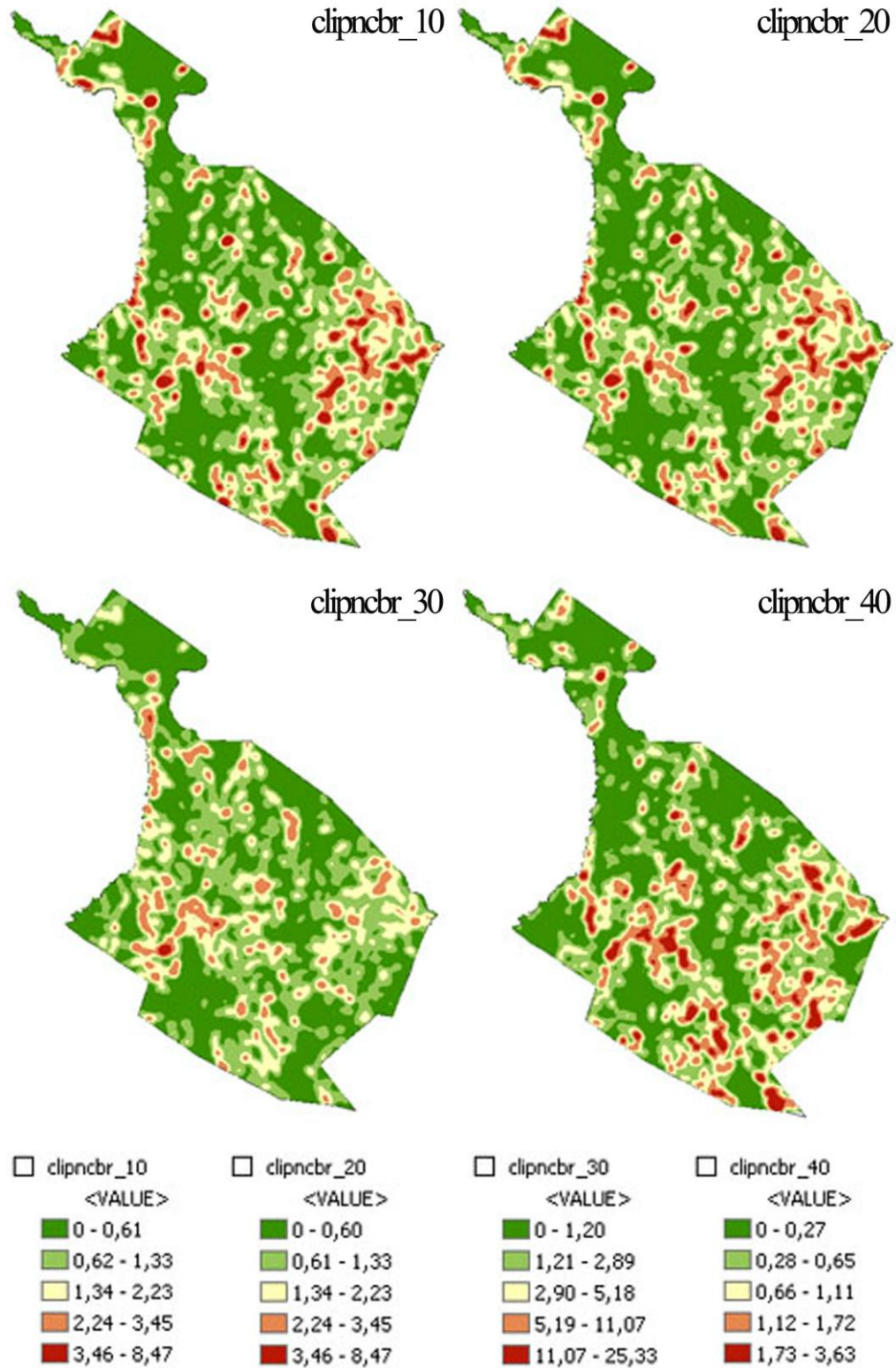


Figura 7.21. – Mapas resultantes de 4 testes, não comparáveis com Mafra, utilizando os primeiros 4 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.3. (clipncbr_10/ Anexo 7.09 - rede hidrográfica, lagoas, dolinas, geologia, geomorfologia (subdivisão) e solos; clipncbr_20/ Anexo 7.10 – lagoas, geomorfologia (subdivisão), geologia, solos e dolinas; clipncbr_30/ Anexo 7.11 - rede hidrográfica, lagoas, falhas, dolinas, geologia, geomorfologia (subdivisão) e solos; clipncbr_40/ Anexo 7.12 – geologia, geomorfologia (subdivisão) e solos).

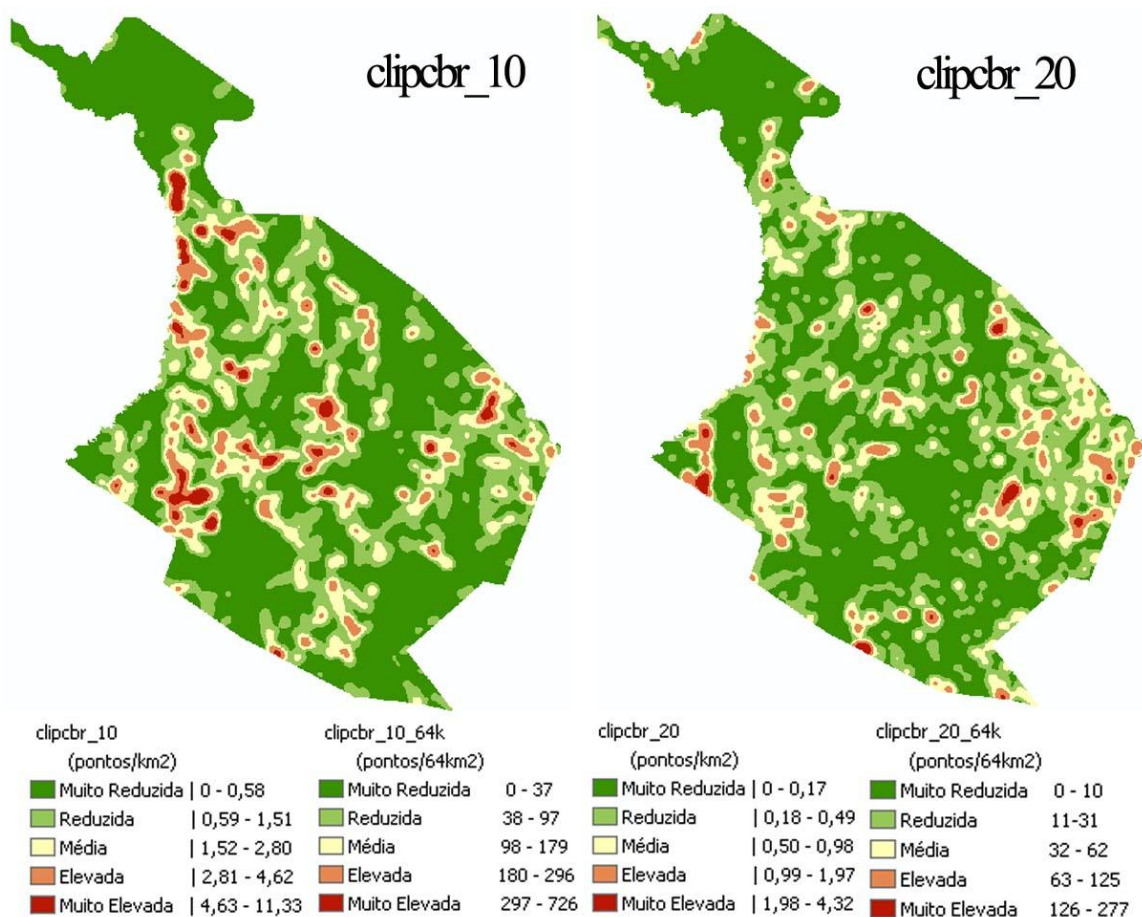


Figura 7.22. – Mapas resultantes de 2 testes, comparáveis com Mafra, utilizando os últimos 2 conjuntos de variáveis referidos no sub-capítulo 7.3.2. (**clipcbr_10/ Anexo 7.13** – lagoas, rede hidrográfica, falhas, dolinas, geologia e geomorfologia (subdivisão); **clipcbr_20/ Anexo 7.14** – lagoas, rede hidrográfica, dolinas, geologia e geomorfologia (nível 3)).

Importa ainda salientar o caso da variável “dolinas”, que embora pudesse ter sido descartada, se revelou pertinente no âmbito da compreensão do comportamento das variáveis. Dada a reduzida densidade de pontos, patente na legenda respectiva, e a exclusão de uma variável estruturante, caso dos solos, a variável dolinas foi sobrevalorizada. Esta sobrevalorização fica patente no sector oeste do município de Morro do Chapéu, onde a elevada concentração de dolinas acabou por condicionar a quantificação da geodiversidade no seu todo.

De igual modo as falhas foram sobrevalorizadas no mapa clipcbr_10 (anexo 7.13). Comparando o padrão deste mapa com o mapa geológico (anexo 6.09), onde constam as falhas, fica patente esta mesma sobrevalorização.

Fica assim evidente que, ao contrário de Mafra, onde a densidade de pontos é muito superior, em Morro do Chapéu uma análise comparativa fica comprometida com as variáveis utilizadas, dada a insuficiente densidade de pontos da escala 1:200 000. Será contudo uma limitação ultrapassável

logo que seja possível a referida reclassificação de solos. Logo que esta condicionante seja ultrapassada, e após a transposição escalar dos valores resultantes da análise, será possível comparar de forma mais rigorosa a geodiversidade do município de Mafra e do município de Morro do Chapéu. A transposição significa, neste caso, a multiplicação por 64 (8x8) dos valores obtidos em Morro do Chapéu para efectuar a comparação com Mafra, com resultados apresentados numa escala 8 vezes maior. Esta questão será exemplificada, a título de exemplo, no ponto 7.5.

7.4. Análise da informação paleontológica

Tendo em conta o facto de se pretender englobar a variável “paleontologia” na análise quantitativa da geodiversidade, procedeu-se a uma pesquisa relativa aos fósseis presentes nas áreas de estudo.

Esta pesquisa teve em conta um facto enunciado (p.37) por Gray (2004), que destaca a impossibilidade de saber quantas espécies existiram até hoje, tornando impossível determinar quantas espécies de fósseis existem.

Deste modo, procedeu-se à análise das notícias explicativas das cartas geológicas que englobam o município de Mafra (30 C; 30 D; 34 A; 34 B). Procedeu-se igualmente à análise dos “programas levantamentos geológicos básicos do Brasil”, correspondentes aos documentos de apoio às cartas geológicas afectas a Morro do Chapéu, nomeadamente a Folha Jacobina – SC.24-Y-C, à escala 1:250 000 e a Folha Morro do Chapéu – SC.24-Y-C-V, à escala 1:100 000 (Rocha, 1997; Sampaio, 1998).

A informação acerca dos fósseis presentes nas várias unidades estratigráficas foi listada em tabelas e analisada. Tendo em conta que existem descrições incompletas de alguns fósseis, com a simples indicação do género e/ou referência a fragmentos de fósseis de espécies não identificadas (ex. dentes), procurou-se uma solução para este problema. Nos casos em que a descrição do fóssil está completa, considerou-se cada uma das espécies. No caso onde existia apenas a descrição do género, considerou-se cada referência como correspondente apenas a uma espécie. Nos casos onde eram feitas referências não específicas, no plural, consideraram-se duas espécies. De forma a complementar nesta tarefa, consultaram-se algumas bases de dados taxonómicas, onde constam as descrições dos fósseis conhecidos, caso da MCZbase, do Museu de Zoologia Comparativa (<http://mczbase.mcz.harvard.edu/>), ou Global Names (<http://gni.globalnames.org/>).

Deste modo, procedeu-se à contagem por unidade estratigráfica, transpondo os dados para as respectivas tabela de atributos das *shapefile* da geologia de Mafra e de Morro do Chapéu, através da criação de um novo campo, denominado “fósseis”.

Numa primeira fase, e para a inclusão destes valores numéricos, procedeu-se a uma divisão por classes (5), através de uma reclassificação dos valores em causa. Esta divisão teria a função de considerar os valores de uma forma objectiva, através da sua ponderação e inserção posterior no método. No entanto, e após alguns testes, chegou-se à conclusão que não é possível considerar os dados desta forma, já que a ponderação torna os dados subjectivos, dando-lhe um maior valor perante as outras variáveis, facto que inviabiliza a sua inserção nestes moldes. Em termos práticos, e inserida esta ponderação, ocorria que, em áreas com baixos índices de geodiversidade, a variável “fósseis” sobrevalorizava o índice, algo que não é aceitável em termos conceptuais.

Note-se que os valores são muito diferenciados entre Mafra e Morro do Chapéu, detalhe que ficou à vista aquando dos testes metodológicos e posterior análise comparativa.

Numa segunda abordagem, optou-se por uma análise diferenciada e separada da análise das variáveis geologia, geomorfologia e solos. Para a variável “fósseis”, considerou-se que a opção mais correcta seria a de unicamente efectuar uma contagem das espécies e contabilizar essa mesma contagem por unidade estratigráfica, efectuando assim uma análise objectiva e complementar à metodologia proposta. Aliás, Gray (2004) refere isto mesmo (p. 350), já que além de mencionar que se deve simplesmente catalogar as espécies existentes, sugere que se deve estabelecer a raridade e vulnerabilidade dos fósseis a nível internacional, nacional ou local.

Tendo com base todos estes pressupostos, procedeu-se desta forma à elaboração de dois mapas (anexos 7.08 e 7.15) onde constam, para cada uma das áreas de trabalho e para cada uma das unidades estratigráficas, o número total de fósseis presentes. O estabelecimento da raridade e da vulnerabilidade extravasa o âmbito deste trabalho de investigação.

Efectuando uma análise comparativa, entre os mapas temáticos de fósseis (anexos 7.08 e 7.15) e os de índices de geodiversidade, podemos constatar que as áreas com maior índice de geodiversidade não correspondem às áreas com o maior número de fósseis.

Esta constatação já tinha sido abordada por Ondicol (2012) (p. 859) quando alude ao facto de, numa mesma área, poder ocorrer simultaneamente um índice de geodiversidade baixo e uma diversidade de fósseis assinalável. Esta possibilidade confirma-se especialmente na área relativa ao município de Mafra, mas também no município de Morro do Chapéu, embora com muito menor expressão. No caso de Mafra, as litologias com o maior número de fósseis são a Formação

de Sobral e a Formação de Caneças, com 113 e 67 fósseis, respectivamente (Tabela 7.4.). Ambas situam-se em áreas com um índice de geodiversidade baixo.

Tabela 7.4. – Número de fósseis existentes, por litologia, no município de Mafra.

Geologia (descrição) - Mafra	Id Vectorial	Espécies (nº)
Aluviões, aterros	aluv	3
Formação de Almargem: pelitos, arenitos e conglomerados	C1-2Al	25
Formação de Cresmina: calcários e margas	C1Cr	15
Formação de Praia dos Coxos: calcários e pelitos	C1Cx	17
Formações de São Lourenço e de Santa Susana indiferenciadas: pelitos e arenitos	C1LS	17
Formação de Porto da Calada: arenitos, pelitos, calcários e dolomitos	C1PC	22
Formação de Regatão: arenitos, pelitos e dolomitos	C1Re	5
Formação de Rodízio: pelitos, arenitos e conglomerados	C1Ro	3
Formações de Ribamar e de Ribeira de Ilhas indiferenciadas: calcários, arenitos e pelitos	C1RR	26
Formações de Santa Susana e de Praia dos Coxos indiferenciadas: margas, arenitos, calcários e pelitos	C1SC	10
Formações de Santa Susana e de Lugar d'Além indiferenciadas: pelitos e arenitos	C1SL	12
Formação de Vale de Lobos: arenitos, conglomerados e pelitos	C1VL	24
Formação de Bica: calcários com rudistas (inclui o nível com <i>Neolobites vibrayeanus</i>)	C2Bi	36
Formação de Caneças: calcários e arenitos ("Belasiano")	C2Cn (carta 34A)	67
Formação de Caneças: calcários e arenitos ("Belasiano")	C2CN (carta 30C)	16
Formação de Arranhó: calcários e margas	J3Ar	39
Formação de Freixial: arenitos, margas e calcários	J3Fr	10
Formação de Sobral: pelitos, arenitos, margas e calcários	J3So	113
Dunas consolidadas	Qd	6

No caso de Morro do Chapéu, ocorre a mesma situação, sabendo, no entanto, que pontualmente coincidem áreas com um índice de geodiversidade médio e uma diversidade de fósseis média-elevada no contexto geológico daquela região, embora seja uma diversidade de fósseis reduzida quando comparada com Mafra. Em Morro do Chapéu a unidade estratigráfica com o maior número de fósseis é a dos arenitos feldspáticos, com cerca de 10 espécies de fósseis (Tabela 7.5.).

Tabela 7.5. – Número de fósseis existentes, por unidade estratigráfica, no município de Morro do Chapéu.

Geologia (descrição+Sigla)	Id Vectorial	Espécies (nº)
Arenito feldspático	12	10
Arenito vermelho	16	5
Calcário	19	10
Argilito-arenito	20	1

7.5. Análise estatística complementar

As estatísticas elaboradas para a geologia, geomorfologia e solos (anexo 6.10), possibilitam uma análise complementar neste domínio. Seguindo, na prática, algumas das propostas metodológicas de Carcavilla *et al.* (2007), no domínio da análise da geodiversidade, já pormenorizadas no capítulo 5, sub-capítulo 5.3.2, efectuaram-se alguns cálculos de apoio à análise quantitativa, quer para Mafra, quer para Morro do Chapéu. Destacam-se o cálculo do número de polígonos por classe, a sua área total e relativa, bem como a frequência de classe. Estes dados estatísticos possibilitam uma melhor leitura e compreensão acerca da componente quantitativa da geodiversidade. No caso da frequência de classe, esta possibilita entender sobre a distribuição das classes, nomeadamente sobre a sua fragmentação, o que tem reflexos a nível de padrões de geodiversidade. Destaca-se igualmente o cálculo da geodiversidade intrínseca, a qual é calculada para toda a área de estudo.

No caso do município de Mafra o cálculo experimental da geodiversidade intrínseca, embora englobando os solos, foi o seguinte:

$$G_i = C/S$$

$$57297/291=196,9 \text{ classes/km}^2$$

Onde:

G_i = Geodiversidade intrínseca

C = Número de classes existentes num território

S = Superfície territorial (km²)

Este cálculo, efectuado com base nos dados que deram origem ao mapa Clip_nc40 (Fig. 7.15.; anexo 7.04) cria um índice genérico, apenas aplicável ao município de Mafra enquanto unidade territorial, e é passível de comparação com outras áreas onde se efectue o mesmo cálculo, tendo em conta a respectiva área abrangida pela análise. Um valor elevador corresponde a uma maior geodiversidade por unidade de superfície, neste caso unidade territorial. Apesar de genérico, é um valor que possibilita afirmar que uma determinada unidade territorial tem uma maior geodiversidade. No entanto, e sublinhe-se, este valor é para toda a área, pois dentro desta a distribuição pode ser muito diferenciada.

No caso de Morro do Chapéu, e para o cálculo da geodiversidade intrínseca, o cálculo foi o seguinte:

$$G_2 = C/S$$

$$11725/5759=2,03 \text{ classes/km}^2$$

O cálculo foi efectuado com base nos dados que deram origem ao mapa clipncbr_30 (Fig. 7.21.; anexo 7.11).

Tendo em conta a diferença de escalas entre Mafra e Morro do Chapéu, será necessário efectuar a respectiva transposição escalar dos valores resultantes do cálculo da geodiversidade intrínseca, de modo a que os valores sejam comparáveis entre si. Ou seja:

$$\text{Transposição escalar } 1:200\,000 / 1:25\,000 - G_{ic} = G_i * 64$$

$$G_{2c} \text{ Morro do Chapéu} - 2,03 * 64 = 129,92 \text{ classes/64km}^2$$

Onde:

G_{2c} = Geodiversidade intrínseca do município de Morro do Chapéu transposta

Decorrente dos valores resultantes de G_{i1} e G_{2c} , e mesmo sabendo que, nestes dois casos, das variáveis incluídas nos cálculos precedentes, constavam os solos, o que inviabiliza comparações

directas, pode afirmar-se que, considerando a unidade territorial/administrativa de Mafra, esta indicia ter um índice de geodiversidade superior ao da unidade territorial/administrativa de Morro do Chapéu.

Analisando os valores estatísticos apurados (anexo 6.10), nomeadamente a percentagem relativa de cada classe, seja em termos de geologia, geomorfologia ou solos, consegue-se perceber que há uma maior heterogeneidade em todos estes domínios em Mafra, face a Morro do Chapéu. Tendo em conta os valores apurados, da geodiversidade intrínseca para o município de Mafra e para o município de Morro do Chapéu, fica reforçada esta ideia de uma maior heterogeneidade por parte de Mafra, o que tem naturalmente correspondência a nível de uma maior geodiversidade.

Capítulo 8

CONSIDERAÇÕES FINAIS

8.1. Síntese e discussão crítica do trabalho desenvolvido

Os trabalhos conduzidos no decorrer deste projecto, com o objectivo de criar e aplicar um método de quantificação da geodiversidade, permitiram estabelecer um método inovador, objectivo e funcional de avaliação. Os resultados da sua aplicação podem ser introduzidos nos planos de ordenamento e gestão do território, numa primeira fase nos municípios de Mafra, Portugal e de Morro do Chapéu, no Brasil.

A geodiversidade é considerada enquanto valor essencial para as actividades antrópicas, o que, para uma correcta gestão, implica a necessidade da quantificação da geodiversidade. Mas para que isso seja possível, há que possibilitar, no concreto, uma expressão numérica da mesma, da forma mais objectiva e abrangente, através de índices próprios, indicadores da geodiversidade do substrato abiótico. Contudo, a avaliação da componente abiótica tem de ser exequível e funcional, facilitando deste modo a sua aplicação em termos práticos e a sua replicação a nível dos planos de ordenamento e gestão do território, caso dos Planos Directores Municipais (PDM). Tendo em conta alguma experiência pessoal, no domínio do exercício de funções públicas, julgamos que esta será uma forma, relativamente simples, de disseminar o conceito de geodiversidade pela política e pela gestão territoriais.

Na falta de um método que consiga abarcar todos os aspectos da geodiversidade, consideramos que o da presente proposta poderá ser utilizado e normalizado para a avaliação da geodiversidade, aplicada ao ordenamento do território. Ou seja, independentemente do método utilizado, o procedimento proposto fará a representação, mais ou menos fidedigna, da geodiversidade de um determinado território. Neste âmbito, salientamos que, de facto, existe uma dificuldade em reconhecer e determinar algumas das relações e interacções entre os vários elementos da geodiversidade e processos associados, daí a tentativa de ser o mais objectivo possível, evitando redundâncias.

Se, por um lado, é relativamente fácil analisar os vários elementos da geodiversidade, no caso dos processos associados, esta tarefa revela-se muito problemática. Idealmente, cada processo deveria ser estudado à sua escala funcional (Wu & David, 2002), no entanto, e no caso da quantificação da geodiversidade, esta tarefa afigura-se de grande complexidade, no nosso entender, inatingível no curto prazo. A base de discussão, em termos de métodos propostos, é ainda incipiente, dado o reduzido número de métodos de quantificação da geodiversidade. Apesar do conceito de geodiversidade já ter sido aprofundado pela comunidade científica, o mesmo ainda não aconteceu relativamente aos métodos que possibilitem a sua quantificação.

Consideramos que ao propor mapas de fácil e imediata compreensão, estamos a contribuir para uma melhor visualização da geodiversidade nos municípios de Mafra e de Morro do Chapéu. Aliás, consideramos fundamental a integração destes mapas, associados a orientações de gestão, nos respectivos PDM's. Julgamos igualmente importante a utilização destes mapas na avaliação de impacte ambiental (EIA) e na avaliação de incidências ambientais (AIncA).

O método proposto tem em conta o facto de que qualquer estratégia para a geodiversidade se deverá alicerçar em três eixos basilares: o conhecimento, a protecção e a utilização. Julgamos que os mapas propostos possibilitam a interligação plena entre estes três eixos estratégicos. Ou seja, os mapas possibilitam em primeiro lugar um conhecimento sobre a distribuição espacial da geodiversidade de dois territórios diferenciados. A componente do conhecimento é essencial para a protecção e utilização destes territórios. Os mapas propostos possibilitam determinar o maior ou menor grau de protecção necessário, aquando da implementação dos planos de natureza territorial.

O estudo desenvolvido, apoiou-se fundamentalmente no trabalho de gabinete, complementado por algum trabalho de campo. A utilização dos sistemas de informação geográfica (SIG) é um elemento preponderante neste estudo. Os SIG são uma ferramenta económica e efectiva para avaliar a geodiversidade em termos quantitativos, existindo actualmente um leque muito diversificado de ferramentas de análise espacial. Considerou-se que a geodiversidade pode ser interpretada e analisada a vários níveis e a várias escalas, tal como no caso da biodiversidade, debatida no capítulo 4. A análise pontual utilizada neste método é, de facto, aplicável a várias escalas, sem a limitação dos sistemas em grelha, que necessitam de adequar a dimensão da grelha, ou seja a dimensão da quadrícula, dependendo da escala utilizada na análise.

Ficou também evidenciada a importância da componente qualitativa da cartografia utilizada, concretamente no formato vectorial. Mais importante do que ter cartografia é ter cartografia devidamente validada, seja a nível topológico, seja a nível dos atributos respectivos.

O método proposto permitiu avaliar com algum rigor a geodiversidade e a sua distribuição a diferentes escalas, gerando resultados similares, quando devidamente transpostos para unidades comparáveis.

No caso de termos cartografia a várias escalas para a mesma área de estudo, a escolha deve incidir sobre as escalas de maior pormenor. Isto muito embora escalas de menor pormenor consigam retratar os padrões de geodiversidade, tal como fica evidenciado pela análise dos mapas de distribuição da geodiversidade.

Em alguns casos, a escala apenas permite a descrição e análise espacial ao nível de associações de solos e não ao nível de unidades de solo individuais. Dando como exemplo o mapa de solos e o mapa geológico de Morro do Chapéu, às escalas 1:100 000 e 1:200 000. Há, em alguns casos, uma evidente agregação da informação que decorre do processo de generalização cartográfica, facto que por vezes inviabiliza a sua correcta utilização. Esta generalização foi assumida na análise, já que apesar de, por exemplo, um mesmo polígono poder conter duas unidades de solo individuais, considerou-se como se tivesse apenas uma, dada a impossibilidade de determinar a expressão espacial de ambas as classes nesse mesmo polígono.

Ou seja, pode suceder o facto de que numa área rica em variações subtis dos elementos da geodiversidade, não se consiga captar esta mesma riqueza na análise espacial, caso a escala não seja a mais adequada. Fica por determinar, num futuro próximo, o comportamento das variáveis às escalas 1:10 000 ou 1:5 000.

No entanto, e para a realidade portuguesa, julgamos que a escala 1:25 000 será a mais adequada dado o facto dos planos de ordenamento territorial, nomeadamente municipais, se efectuarem maioritariamente a esta mesma escala. No caso do Brasil, seria desejável a utilização de uma cobertura cartográfica a escalas de maior pormenor, mais indicadas para basear os planos de ordenamento e gestão do território de nível municipal. Contudo, e tendo em conta a dimensão do país, julgamos que a utilização de cartografia à escalas 1: 100 000 ou 1: 200 000 se adequa numa primeira fase aos objectivos pretendidos.

No nosso entender, este método possibilita igualmente uma análise mais aprofundada sobre a estrutura espacial, ao ter em conta a diversidade, a frequência e a distribuição das variáveis incluídas nesta avaliação. A geodiversidade será tanto maior quanto maior for a diversidade, a frequência e a distribuição das variáveis estudadas.

O método utilizado revela-se mais avançado que outros por considerar a localização específica de cada combinação única dos elementos que compõem a geodiversidade. Ou seja, considera que a combinação de uma litologia específica, com uma forma geomorfológica, com um tipo de solo, corresponde a uma ocorrência da geodiversidade. Assim, este método quantifica a densidade de cada combinação específica como indicador da geodiversidade.

8.2. Limitações inerentes ao processo de análise espacial

Como já foi referido, uma avaliação quantitativa da geodiversidade pressupõe a existência de uma informação de base correcta e em escala adequada, para todos os elementos que devem ser

integrados no cálculo. No caso da variável pedológica e apesar de ser uma limitação futuramente passível de ultrapassar, é um facto que a impossibilidade de uniformizar os sistemas de classificação de solos, através da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), se revelou como a maior limitação na aplicação do método agora proposto. Esta impossibilidade deveu-se ao facto da cartografia de solos do município de Mafra não ter os atributos que possibilitem a sua reclassificação através da WRB. Ficou evidente que no caso português há diferenças assinaláveis em termos de cartografia de solos e atributos respectivos. Dos conjuntos cartográficos referenciados no capítulo 6, dois destes não possibilitam a transposição para a WRB. Naturalmente que há todo um trabalho de fundo a efectuar por parte das entidades competentes, tal como a Sociedade Portuguesa de Ciência do Solo o fez, ao transpor as Ordens/Subordens da Classificação de Solos Portuguesa (CSP) utilizando a WRB.

Relativamente à realidade brasileira, é possível transpor toda a cartografia de solos relativa a Morro do Chapéu. Contudo esta transposição não foi efectuada, dada a impossibilidade de o fazer no caso de Mafra, em Portugal. Finalizando a componente solo, mesmo apesar das condicionantes referidas, julgamos ter demonstrado o quanto importante e válida é a inclusão desta componente na avaliação quantitativa da geodiversidade, ao contrário de alguns métodos apresentados no capítulo 5. Há que realçar que para diferentes objectivos, há abordagens diferenciadas, facto que justifica tal diferenciação nos métodos já existentes.

No domínio da inclusão ou exclusão da análise está também a questão da hidrografia. Foi por nós assumido que a componente hidrográfica deveria ser incluída no método proposto, tendo sido efectuada a classificação de Strahler (2002), aplicada a toda a rede hidrográfica de ambos os municípios. Após termos efectuado os testes metodológicos, ficou evidenciado que a hidrografia, não sendo fundamental, é útil.

Relativamente à cartografia geomorfológica, não há ainda um sistema de classificação aceite a nível internacional, contudo a classificação de formas de relevo, de Ross (1992), assume-se como uma alternativa válida do ponto de vista conceptual. Tendo em conta o facto de um dos objectivos iniciais desta dissertação ter sido o desenvolvimento de um método normalizado de quantificação da geodiversidade, julgamos que, no que concerne à elaboração da cartografia geomorfológica, poderá ser tida em conta uma outra abordagem em futuros desenvolvimentos deste método. A elaboração do mapa geomorfológico revela-se muitas vezes uma tarefa morosa, tanto maior quanto a dimensão da área de estudo, tal como ocorreu no caso do município de Mafra. Tendo sido uma tarefa inteiramente manual, em ambiente SIG, embora de grande importância para a

compreensão do relevo, este procedimento parece-nos passível de ser abordado através de uma classificação semi-automática do relevo, a qual será igualmente fidedigna, levando menos tempo a desenvolver e consumindo menos recursos.

Depois de analisados vários métodos de classificação do relevo (Brabyn, 1998; Burrough *et al.*, 2000; Adediran & Parcharidis, 2004; Schmidt & Hewitt, 2004; Bolongaro-Crevenna *et al.*, 2005; Asselen & Seijmonsbergen, 2006; Prima *et al.*, 2006; Reuter *et al.*, 2006; Etzelmuller *et al.*, 2007; Minár & Evans, 2008; Gerçek, 2010), parece-nos evidente que estes serão opções igualmente válida e mais exequíveis do ponto de vista técnico. Elaborar mapas geomorfológicos de todo um país, numa base manual, seria não só uma tarefa impraticável, bem como pouco sólida em termos conceptuais, dada a dificuldade em conseguir manter exactamente os mesmos critérios na análise geomorfológica.

Um outro ponto que importa destacar, já em 1998 Gustafson (Gustafson, 1998) referia o facto de vários investigadores sem conhecimento avançado em SIG estarem a tentar calcular e interpretar índices de diversidade, o que no nosso entender, pode condicionar a escolha do método, em termos de ferramentas de análise espacial, bem como os resultados decorrentes dessa análise.

Apesar de compreensível esta situação, o facto é que, tal como constatado, isso limitou à partida a escolha do método, talvez daí a maior parte dos métodos se basear num sistema de grelha, ou seja a forma mais simples, embora válida, de análise espacial. Ou seja, o nível de conhecimento em SIG condiciona o método de avaliação, o que em termos conceptuais representa uma evidente limitação.

Isto significa que, noutros estudos que visem nomeadamente a quantificação da geodiversidade, será importante alargar o leque de opções em termos de análise espacial em SIG. Numa temática tão complexa no domínio da análise espacial, torna-se fundamental avançar nesta questão, testando novos métodos de quantificação da geodiversidade, através de outras ferramentas de análise espacial.

Um aspecto que, quando comparado com outros métodos de quantificação da geodiversidade pode ser considerado como uma limitação, é o facto de este não possibilitar o cálculo de sub-índices, tal como no método de Pereira *et al.* (2013). Foi nossa opção criar um método o mais simples possível sem necessariamente sacrificar o rigor, daí o assumir a opção de não considerar sub-índices.

Uma outra limitação a destacar, é o facto da cartografia relativa ao município de Morro do Chapéu, disponibilizada pelos Serviços Geológicos do Brasil (CPRM), se circunscrever aos limites

administrativos daquele município. Apesar de este facto não impossibilitar a aplicação da metodologia na área limítrofe ao município de Morro do Chapéu, condiciona a precisão da mesma, embora apenas num sector marginal, tal como descrito no capítulo 7. No caso de Mafra, mesmo apesar de não ocorrer esta limitação cartográfica, e por uma questão metodológica, circunscreveu-se a análise espacial ao município de Mafra.

Actualmente, para uma mesma escala, não é possível comparar, de forma directa, a geodiversidade dos municípios de Mafra e de Morro do Chapéu. É, contudo, possível quantificar a geodiversidade e a sua distribuição no seio de ambos os territórios, sem intuito comparativo.

A escalas diferenciadas, e de acordo com os resultados apresentados e discutidos no capítulo 7, consideramos que, com este método, é possível extrapolar qual o território com maior índice de geodiversidade. Os dados estatísticos, complementares, indiciam igualmente esta possibilidade. Isto mesmo tendo em conta um facto referido por Marceau (1999), o de que as entidades, os processos e as variações ambientais, não podem ser estudados apenas a uma escala de análise.

Mesmo tendo em conta as condicionantes enunciadas, consideramos que o índice de geodiversidade agora proposto se revela suficientemente robusto para ser aplicado nos planos de ordenamento do território, seja com ou sem intuito comparativo. Isto embora seja desejável e, no nosso entender, fundamental a componente comparativa. Neste último âmbito, desde que utilizados os mesmos critérios e a mesma resolução espacial, estão reunidas as condições para se obter uma base comparativa de análise espacial. A escalas diferenciadas, apesar de não ter sido possível uma comparação linear, consideramos que os resultados, agora obtidos, indiciam ser possível comparar os resultados, desde que sejam apresentados em unidades apropriadas para cada uma das escalas.

8.3. Propostas de investigações futuras

A investigação desenvolvida nesta tese centrou-se na temática da quantificação da geodiversidade, contudo esta mesma linha de investigação pode possibilitar um aprofundamento de outras linhas de investigação, de forma complementar, casos da ligada à temática dos geossítios, do geoturismo e também à da própria biodiversidade.

No que concerne aos geossítios, e decorrente da existência de alguma informação cartográfica relativa aos mesmos, nomeadamente para o município de Morro do Chapéu, os resultados da quantificação da geodiversidade indiciam que os mapas de distribuição da geodiversidade, de base regional (anexo 7.11 – B), podem representar um indicador útil quando se pretende inventariar

geossítios em extensas áreas territoriais. Isto sabendo da impossibilidade de percorrer vastos territórios a pé, na procura de novos geossítios. Claro que, numa primeira fase, pois isto não significa que todos os geossítios estejam situados em áreas com elevada geodiversidade, tal como constatado no caso de Morro do Chapéu. Ou seja, numa primeira abordagem na inventariação de geossítios num determinado território, um mapa de distribuição da geodiversidade poderá representar um instrumento importante para a descoberta de geossítios, assumindo que numa área mais rica será maior a probabilidade de se encontrarem valores patrimoniais.

Relativamente ao município de Morro do Chapéu, no Brasil, é possível concluir isto mesmo, pois dos 17 geossítios referenciados (anexo 7.11 – B), 13 situam-se em áreas com um índice de geodiversidade médio a muito elevado (índice muito elevado – 1 geossítio; índice elevado – 5 geossítios; índice médio – 7 geossítios). Naturalmente que esta análise carece de maior aprofundamento, logo que exista uma listagem de geossítios mais completa.

Já relativamente ao município de Mafra, até à data, não é conhecido um inventário de geossítios ao nível municipal, sendo que existe apenas um geossítio (Penedo do Lexim) referenciado a nível nacional. Apesar de não ser possível extrapolar a análise com base apenas num geossítio, constatou-se que, no caso de se considerar as três variáveis, por nós consideradas estruturantes na quantificação da geodiversidade – geologia, geomorfologia e solos – este geossítio encontra-se numa área de elevada geodiversidade. Será importante elaborar um inventário de geossítios para o município de Mafra, confrontando-o seguidamente com os mapas de distribuição da geodiversidade elaborados no decorrer deste trabalho, de modo a perceber se há relação entre o mapa de distribuição da geodiversidade e a ocorrência de geossítios.

No que diz respeito ao geoturismo, há que realçar que a geodiversidade é a base desta actividade económica. Os mapas de distribuição da geodiversidade podem ser úteis na elaboração e optimização de percursos geoturísticos. Outro facto a realçar, tem a ver com a elaboração de planos e/ou estratégias regionais, nacionais ou supranacionais de turismo, pois ao ser tido em conta a componente geodiversidade, expressa em mapas de fácil e imediata leitura, estes mesmos planos e/ou estratégias, serão obviamente mais fundamentados e válidos.

No que concerne à questão da biodiversidade, destaca-se o potencial de utilização dos mapas de distribuição da geodiversidade nos estudos sobre biodiversidade. É notório o facto de que são escassos os estudos que correlacionem índices de geodiversidade e índices de biodiversidade, tal como o apresentado por Silva (2012) e referenciado no capítulo 4. Por seu lado, são referenciadas conformidades universais comuns à organização das estruturas bióticas e abióticas (Ibáñez *et al.*

1995), o que reforça a importância deste tipo de estudos. Tendo em conta a relação intrínseca entre as componentes biótica e abiótica, destacada no capítulo 4 desta tese, e a importância do conhecimento das relações entre ambos, julgamos que os mapas de distribuição da geodiversidade, aqui apresentados, se revelam como um contributo válido também neste domínio. Estes deverão no futuro ser confrontados com mapas de distribuição da biodiversidade como forma de avaliar eventuais correlações e interligações.

Relativamente à elaboração de mapas geomorfológicos, julgamos que será pertinente investigar o nível de adequabilidade dos métodos de classificação semi-automática do relevo relativamente aos métodos de quantificação da geodiversidade.

Como proposta de investigação futura, e para finalizar, destacamos agora uma das questões que mais dúvidas tem levantado à comunidade de investigadores que se dedica à quantificação da geodiversidade. O grau de alteração da superfície terrestre, induzido pela acção antrópica, tem levado a uma descaracterização natural, referida por Rojas (2005). Será que devemos avaliar da mesma forma territórios fortemente alterados pela acção humana e territórios ainda com características eminentemente naturais?

BIBLIOGRAFIA

ADALBERTO, V. (2007) – The landscape: places and cultures. *In Zoran et al* (ed.) European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond. Edições Universitárias Lusófonas: 57-70.

ADEDIRAN, A.; PARCHARIDIS, I.; POSCOLIERI, M.; PAVLOPOULOS, K. (2004) – Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients. *Geomorphology*, Vol. 58: 357-370. [Acedido em 15 de Abril de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X03002654>

ADLER, P.; WHITE, E.; LAUENROTH, W.; KAUFMAN, D.; RASSWEILER, A.; RUSAK, J. (2005) – Evidence for a general species-time-area relationship. *Ecology*, 86 (8) 2032-2039. [Acedido em 2 de Março de 2010].

<http://www.esajournals.org/doi/abs/10.1890/05-0067>

AHLUWALIA, A. (2006) – Indian geoheritage, geodiversity: Geosites and geoparks. *Current Science*, Vol. 91, Nº 10, p. 1307. [Acedido em 19 de Maio de 2010].

<http://www.ias.ac.in/currensci/nov252006/1307.pdf>

AMARAL, I. (2001) – Acerca de «Paisagem»: apontamentos para um debate. *Finisterra*, XXXVI, 72: 75-81.

ANDRÉFOUET, S. & GUZMAN, H. (2004) - Coral reef distribution, status and geomorphology–biodiversity relationship in Kuna Yala (San Blas) archipelago, Caribbean Panama. *Coral Reefs*, Vol. 24, Nº 1: 31-42.

<http://www.springerlink.com/content/0j6qt904ta8gajwa/fulltext.pdf>

ARAÚJO, M. (1998) – Avaliação da biodiversidade em conservação. *Silva Lusitana*, 6 (1): 19-40. [Acedido em 30 de Julho de 2010].

<http://home.cea.uevora.pt/~mba/index.html/Araujo1998.PDF>

ASSELEN, S. & SEIJMONSBERGEN, A. (2006) – Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous área using a laser DTM. *Geomorphology*, Vol. 78: 309-320. [Acedido em 26 de Abril de 2011].

<http://home.shirazu.ac.ir/~kompani/geomorphology/geomorphology-lec-papers-mehr88/vanAsselen-expertdrivensemiautomated-geomorph2006.pdf>

AZEVÊDO, M. & PIMENTEL, N. (2006) – Ler a paisagem I – uma abordagem actual para a divulgação da geodiversidade. II Congresso Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia, Ciência e Sociedade. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 3, APGeom, pp. 135-140.

AZEVEDO, M. (2006) – Geodiversidade e geoturismo na bacia do Tejo português – uma abordagem preliminar. II Congresso Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia, Ciência e Sociedade. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 3, APGeom, pp. 161-165.

AZEVEDO, Ú. (2007) – Patrimônio Geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a criação de um Geoparque da Unesco. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia.
<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/MPBB-76LHEJ>

BALKWILL, K.; CAMPBELL-YOUNG, G.; FISH, L.; MUNDAY, J.; FREAN, M.; STALMANS, M. (2011) – A new species of *Sartidia* (Graminae), endemic to ultramafic soils. *South African Journal of Botany*, Article in Press. [Acedido em 28 de Março de 2011].
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=EmailFriendURL&_method=gatherInfo&_ArticleListID=1696393013&refSource=html&count=1&_uokey=B7XN9-52108YT-1&_acct=C000037198&_version=1&_userid=686185&md5=10dc416f4f57a7a434cb63692a3cc6f8

BARTLEY, R. & RUTHERFURD, I. (2005) – Measuring the reach-scale geomorphic diversity of streams: application to a stream disturbed by a sediment slug. *River Research and Applications*, Vol. 21, Issue 1: 39-59. [Acedido a 4 de Março de 2010].
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/109860749/PDFSTART>

BARTHLOTT, W.; MUTKE, J.; RAFIQPOOR, D.; KIER, G.; KREFT, H. (2005) – Global centers of vascular plant diversity. *Nova Acta Leopoldina* NF 92, Nº 342: 61-83. [Acedido em 4 de Março de 2010].
http://www.uni-bonn.de/~uzsxeg/pdf/Barthlott_etal_2005_Leopoldina.pdf

BARTHLOTT, W.; HOSTERT, G.; KIER, G.; KÜPER, W.; KREFT, H.; MUTKE, J.; RAFIQPOOR, M.; SOMMER, J. (2007) – Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Erdkunde*, Band 61, Heft 4: 305-316. [Acedido a 4 de Março de 2010].
http://www.uni-bonn.de/~uzsxeg/pdf/Barthlott_etal_2007_Erdkunde.pdf

Bases para a Revisão e Actualização da Classificação dos Solos em Portugal (2004) – Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, Lisboa, 79 pp. [Acedido em 2 de Fevereiro de 2011].
http://www.spcs.pt/Relatorio_protoc_IDRHA-SPCS_FIN.pdf

BELIY, V. (2008) - The geological diversity of island Arc Volcanism: Northeast Russia. *Journal of Volcanology and Seismology*, Vol. 2, Nº 6: 395-410. [Acedido em 15 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/3773573873011733/fulltext.pdf>

BENITO-CALVO, A.; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.; MAGRI, O.; MEZA, P. (2009) – Assessing regional geodiversity: The Iberian Peninsula. *Earth Surface Processes and Landforms* Vol. 34, Issue 10: 1433-1445. [Acedido em 3 de Março de 2010].

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/122476796/PDFSTART>

BERNARD, K. & CHITWOOD, L. (1990) – Use of geomorphology in the classification of riparian plant associations in mountainous landscapes of central Oregon, U.S.A. *Forest Ecology and Management*, Vol. 33/34: 405-418. [Acedido em 28 de Março de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811279090206Q>

BOLONGARO-CREVENNA, A.; TORRES-RODRÍGUEZ, V.; SORANI, V.; FRAME, D.; ORTIZ, M. (2005) – Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. *Geomorphology*, Vol. 67: 407-422. [Acedido em 15 de Abril de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X04002661>

BRABYN, L. (1998) – GIS Analysis of Macro Landform. Proceedings of the Spatial Information Research Centre 's 10th Colloquium, University of Otago, New Zealand, pp. 35-48. [Acedido em 26 de Abril de 2011].

http://www.business.otago.ac.nz/sirc/conferences/1998/05_Braby.pdf

BRILHA, J. (2005) – *Património Geológico e Geoconservação – A conservação da Natureza na sua vertente geológica*. Palimage Editores, Braga, 190 p.

BRUSCHI V. (2007) - *Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad*, PhD Thesis, Universidad de Cantabria, Santander, 355 pp. [Acedido em 30 de Março de 2010]

http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-1123107-095006/0de7.VMBprevio.pdf

BUCHWAL, A. & FIDELUS, J. (2008) – The development of erosive and denudational landforms on footpaths sections in the Babia Góra massif and the western tatra. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 2: 14-24.

BUREK, C. & POTTER, J. (2004) – Local Geodiversity Action Plans – a wider application. “Earth heritage: World Heritage” conference abstracts. [Acedido em 6 de Outubro de 2010].

<http://www.geoconservation.com/EHWH/Conference/abstracts.htm>

BUREK, C. & POTTER, J. (2003) - Local Geodiversity Action Plans: Sharing Good Practice Workshop Peterborough, 3 December. English Nature Research Report, No 601. [Acedido a 6 de Junho de 2010]

<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/R601>

BUREK, C. & POTTER, J. (2006) - Local Geodiversity Action Plans: Setting the context for geological conservation. English Nature Research Report, No 560. [Acedido a 11 de Abril de 20010]
<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/Product.aspx?ProductID=6d726d7a-c9d5-4ff5-b0f2-325653eaef15>

BURGESS, N.; HALES, J.; RICKETTS, T.; DINERSTEIN, E. (2006) – Factoring species, non-species values and threats into biodiversity prioritisation across the ecoregions of Africa and its islands. *Biological Conservation*, Vol. 127, Issue 4: 383-401. [Acedido em 4 de Março de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320705003381>

BURNETT, M.; AUGUST, P.; BROWN, J.; KILLINGBECK, K. (1998) – The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. I. A patch-scale perspective. *Conservation Biology*, Vol. 12, Nº 2: 363-370. [Acedido em 2 de Março de 2010].
<http://www.jstor.org/pss/2387506>

BURROUGH, P.; VAN GAANS, P.; MACMILLAN, R. (2000) – High-resolution landform classification using fuzzy k-means. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 113: 37-52. [Acedido em 6 de Junho de 2011].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165011499000111>

CAMPOS, D. & ISAZA, J. (2009) – A geometrical index for measuring species diversity. *Ecological Indicators*, Vol. 9, Issue 4: 651-658. [Acedido em 4 de Março de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X08000848>

CARCAVILLA, L.; LÓPEZ J.; Durán J. (2007) - Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero, IGME, Madrid. ISBN 978-84-7840-710-1

CARCAVILLA, L.; DURÁN, J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2008) - Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria. [Acedido em 30 de Abril de 2010].
http://www.igme.es/internet/patrimonio/descargas/concepto_Geodiversidad.pdf

CARCAVILLA, L.; DURÁN, J.; GARCÍA-CORTÉS, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2009) - Geological heritage and geoconservation in Spain: Past, present, and future. *Geoheritage*, Vol 1:75–91. [Acedido em 15 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/724u06m0rv433r57/fulltext.pdf>

CHEN, J.; ZHANG, X.; GONG, Z.; WANG, J. (2001) – Pedodiversity: a controversial concept. *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 11, Nº 1: 110-116 [Acedido em 21 de Janeiro de 2011].
<http://www.springerlink.com/content/mj2088m782nq34g1/fulltext.pdf>

CHESWORTH, W. (2008) – Encyclopedia of soil science. Springer, Canada, 849 p.

CODY, A. (2007) – Geodiversity of geothermal fields in the Taupo volcanic zone. DOC RESEARCH & DEVELOPMENT SERIES 281. [Acedido em 25 de Maio de 2010].

<http://www.doc.govt.nz/upload/documents/science-and-technical/drds281.pdf>

CORDES, E.; CUNHA, M.; GALÉRON, J.; MORA, C.; ROY, K.; SIBUET, M.; VAN GAEVER, S.; VANREUSEL, A.; LEVIN, L. (2009) - The influence of geological, geochemical, and biogenic habitat heterogeneity on seep biodiversity. *Marine Ecology*, Vol. 31, Issue 1: 51-65. [Acedido em 4 de Março de 2010].

http://www.globalshark.ca/ramweb/papers-total/Cordes_et_al_2009_seep_diversity.pdf

COSTA, J. (1999) – Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 527 p.

COSTA, G.; NOGUEIRA, C.; MACHADO, R.; COLLI, G. (2010) - Sampling bias and the use of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 19, Nº 3: 883-899. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/f1k737253151t7j3/fulltext.pdf>

COSTANTINI, E. & L'ABATE, G. (2009) – The soil cultural heritage of Italy: geodatabase, maps, and pedodiversity evaluation. *Quaternary International*, Vol. 209, Issues 1-2: 142-153. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618209000822>

COTTLE, R. (2004) - Linking Geology and Biodiversity. *English Nature Research Reports*, No. 562. [Acedido em 29 de Abril de 2010].

<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/R562>

CULVER, D. & PIPAN, T. (2010) – Climate, abiotic factors, and the evolution of subterranean life. *Acta Carsologica*, Vol. 39, Issue 3: 577-586. [Acedido em 24 de Março de 2011].

<http://carsologica.zrc-sazu.si/downloads/393/Culver.pdf>

DALY, H. & FARLEY, J. (2004) – *Economia Ecológica: princípios e aplicações* (Trad.). Coleção Economia e Política, INSTITUTO PIAGET, 530 p.

DATCHARRY, B.; MARDONES, H.; MUGURUZA, I. (2004) – La divulgación del patrimonio geológico: un problema de comunicación. El Patrimonio Geológico: Cultura, Turismo y Medio Ambiente. Actas V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico, S. G. E. F.: 135-143.

DEGÓRSKI, M. (2003) – Local variability of soil properties of forest stands along the North-South climatic transect in Europe. *Polish Journal of Ecology*, Vol. 51, Issue 4: 461-469. [Acedido em 4 de Março de 2010].

http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/abstrakty/monografie/patterns_2003/6.pdf

Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (2007) - *Vocabulário de Termos e Conceitos do Ordenamento do Território*. Europress, Editores e Distribuidores, Lda.

DIAS, J.; GOMES, O.; SILVA, J.; GOES, M. (2005) – A Geodiversidade do Município de Volta Redonda, Rio de Janeiro. *Caminhos de Geografia*, 14 (14) 151-160. [Acedido em 2 de Março de 2010]

www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html

DINERSTEIN, E.; POWELL, G.; OLSON, D.; WIKRAMANAYAKE, E.; ABELL, R.; LOUCKS, C.; UNDERWOOD, E.; ALLNUTT, T.; WETTENGEL, W.; RICKETTS, T.; STRAND, H.; O'CONNOR, S.; BURGESS, N. (2000). A workbook for conducting biological assessments and developing biodiversity visions for ecoregion-based conservation - terrestrial ecoregions. WWF - Conservation Science Program, 249pp. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/Default.aspx?module=Files/FileDescription&ID=772&state=FD>

DOGAN, H. & DOGAN, M. (2006) - A new approach to diversity indices – modeling and mapping plant biodiversity of Nallihan (A3-Ankara/Turkey) forest ecosystem in frame of geographic information systems. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 15, Nº 3: 855-878. [Acedido a 4 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/t04112j4168157g6/fulltext.pdf>

DOMINGUES, A. (2001) – A paisagem revisitada. *Finisterra*, XXXVI, 72: 55-66.

DOURADO, R. & COSTA, I. (Org.) (1995) - Projeto Mapas Municipais - Município de Morro do Chapéu (Ba): informações básicas para o planeamento e administração do meio físico. Serviços Geológicos do Brasil, Salvador, Brasil, 193 p.

DUELLI, P. & OBRIST, M. (2003) - Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 98, Issue 1-3: 87-98. [Acedido em 10 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903000720>

DURÁN, J.; CARCAVILLA, L.; LÓPEZ J. (2005): Patrimonio Geológico: Una panorámica de los últimos 30 años en España. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 100 (1-4): 277-287. [Acedido em 10 de Março de 2014]

<http://www.igme.es/internet/patrimonio/publicaciones/revistas/Durán%20et%20al%202005%20-%20Patrimonio%20geológico%20en%20España.pdf>

ENGERING, S. & BARRON, H. F. (2007) - Doncaster geodiversity assessment. *British Geological Survey Commissioned Report*, CR/07/025N. 139pp. [Acedido em 2 de Março de 2010].
http://www.doncaster.gov.uk/Images/Doncaster%20Geodiversity%20Final%20Report1_1_tcm2-48654.pdf

ERIKSTAD, L. (2013) – Geoheritage and geodiversity management – the questions for tomorrow. *Proceedings of the Geologists Association*, 124: 713-719. [Acedido em 1 de Abril de 2014].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001678781200082X>

ETZELMULLER, B. ; ROMSTAD, B.; FJELLANGER, J. (2007) – Automatic regional classification of topography in Norway. *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 87: 167-180. [Acedido em 26 de Abril de 2011].
http://www.geologi.no/data/f/0/10/87/0_22301_0/Etzelmuller_et_al.pdf

EWERS, R.; DIDHAM, R.; WRATTEN, S.; TYLIANAKIS, J. (2005) - Remotely sensed landscape heterogeneity as a rapid tool for assessing local biodiversity value in a highly modified New Zealand landscape. *Biodiversity and Conservation* 14: 1469–1485. [Acedido em 15 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/v1173j425k63kq73/fulltext.pdf>

FAITH, D. (2002) - Quantifying biodiversity: a phylogenetic perspective. *Conservation Biology*, Vol. 16, Nº 1: 248-252. [Acedido em 4 de Março de 2010].
http://www.nationaalherbarium.nl/taskforcemolecular/PDF/TF_Sept05_Faith%20phylogenetic%20diversity%202002.pdf

FEIO, M.; DAVEAU, S.; FERREIRA, A.; FERREIRA, D.; MARTINS, A.; PEREIRA, A.; RIBEIRO, A. (2004) – O Relevo de Portugal – Grandes Unidades Regionais, Associação Portuguesa de Geomorfólogos – Volume II, Coimbra.

FÉLIX, P. (2001) – “Serra de Alvaiázere: um povoado do Bronze final no centro de Portugal”, Almadan. Almada.

FERNANDES, J. (2004) – Território, Desenvolvimento e Áreas Protegidas: A Rede Nacional de Áreas Protegidas e o caso do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros. Tese de Doutoramento. Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra. 564 p..

FILHO, N. & MELO, A. (1990) – Geologia de parte da Chapada Diamantina (Proterozóico Médio e Superior) na região de Morro do Chapéu. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Brasil: 34-48. [Acedido em 30 de Julho de 2011].
http://sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/1990-NATAL/

FONSECA, J. (2005) – Dicionário do nome das Terras: Origens, curiosidades e lendas das terras de Portugal. Casa das Letras, 301p.

FORTE, J. (2007) – *O carso enquanto base para o desenvolvimento socio-económico na região de Alvaiázere*. Actas do Simpósio Iberoamericano sobre Património Geológico, Arqueológico e Mineiro em Regiões Cársticas, 28 de Junho a 1 de Julho, Batalha, Portugal, pp. 155-163.

FORTE, J. (2008) - Património geomorfológico da Unidade Territorial de Alvaiázere: inventariação, avaliação e valorização. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa, 329 p.

FORTE, J.; Medeiros, S.; Medeiros, G.; Ferreira, C.; Lemos, R.; Mendes, H.; Neves, C.; Alves, P.; Guedes, E.; Barcelos, P. (2008) - *Grutas, Religião e Cultos: Exemplos de Portugal*, Pesquisas em turismo e paisagens cársticas, Revista Científica da Seção de Espeleoturismo da Sociedade Brasileira de Espeleoturismo, v.1, n.2, pp. 173-182.

FORTE, J.; MEDEIROS, S.; MENDES, H.; MEDEIROS, G.; ALVES, P.; NENES, H.; FERREIRA, C.; NEVES, C.; LEMOS, R.; SILVA, M. (2010) – “O Impacte ambiental de parques eólicos no Maciço de Sicó: o exemplo da Serra de Alvaiázere”. Volume de Actas do V Congresso Nacional de Geomorfologia – Tradição e Modernidade, Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 8 a 11 de Dezembro de 2010, p. 107-112.

FRANK, R.; ANDRESEN, M.; FELSON, M. (2012) – The geodiversity of crime: evidence from British Columbia. *Applied Geography*, 34: 180-188. [Acedido em 1 de Abril de 2014].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014362281100230X>

GASCÓN, E. (2006) – *Geodiversidad y educación ambiental comunitária: el médio rural de Teruel*. *III Jornadas de Educación Ambiental de la Comunidad Autónoma de Aragón*, 24-26 de Marzo, CIAMA, La Alfranca, Zaragoza. [Acedido em 5 de Maio de 2010].
<http://portal.aragon.es/portal/page/portal/MEDIOAMBIENTE/EDUAMB/SENSIBILIZACION/JORNADAS/GRUPO1/GEODIVERSIDAD.PDF>

GASTON, K. (1998) – Biodiversity – The road to an atlas. *Progress in Physical Geography* 22, 2: 269-281. [Acedido em 3 de Março de 2010].
<http://ppg.sagepub.com/cgi/reprint/22/2/269.pdf>

GERÇEK, D. (2010) – Object-based classification of landforms based on their local geometry and geomorphometric context. PhD Thesis, Middle East Technical University, 202 p. [Acedido em 26 de Abril de 2011].
<http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12611780/index.pdf>

GIMONA, A.; MESSENGER, P.; OCCHI, M. (2009) - CORINE-based landscape indices weakly correlate with plant species richness in a northern European landscape transect. *Landscape Ecology*, Vol. 24, Nº 1: 53-64. [Acedido em 15 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/g38h847tw3209538/fulltext.pdf>

GONTIER, M.; BALFORS, B.; MORTBERG, U. (2006) - Biodiversity in environmental assessment—current practice and tools for prediction. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 26, Issue 3: 268-286. [Acedido em 11 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0195925505001228>

GORDON, J.; MORROCCO, S.; BALLANTYNE, C.; THOMPSON, D. (2006) - Links between geodiversity and biodiversity on upland plateaux in Scotland: the importance of terrain sensitivity in managing. Perth College. [Acedido em 30 de Março de 2010].

<http://www.perth.ac.uk/specialistcentres/cms/Conferences/Documents/Links%20between%20geodiversity.pdf>

GORDON, J.; KIRKBRIDE, N.; RENNIE, A.; BRUNEAU, P. (2008) – Climate change: why geodiversity matters. *Earth heritage – The geological and landscape conservation magazine*. Issue 30: 8-10.

GORDON, J. & KIRKBRIDE, V. (2009) – Opening new doors: Geodiversity and the cultural landscape in Scotland. *Earth heritage – The geological and landscape conservation magazine*. Issue 32: 12-14.

GOTELLI, N. & COLWELL, R. (2001) - Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, Vol. 4, Issue 4: 379-391. [Acedido a 5 de Março de 2010].

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/119029787/PDFSTART>

GSPURNING, J. & SULZER, W. (2007) – The diversity of nature and how to manage it with geo-spatial-technologies-experiences in sustainability got from fieldwork in Hohentauern. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, Band 43: 201-208. [Acedido em 2 de Março de 2010].

http://www.kfunigraz.ac.at/geowww/hmrsc/pdf/hmrsc9/201_207_gspurnig_sulzer.pdf

GRAY, M. (2004) – *Geodiversity – valuing and conserving abiotic nature*. John Wiley & Sons, Inglaterra, 434 p.

GRAY, M. (2008) - Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, Vol. 119, Issues 3-4: 287-298. [Acedido em 19 de Maio de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787808803070>

GRAY, M.; GORDON, J.; BROWN, E. (2013) – Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proceedings of the Geologists Association*, 124: 659-673. [Acedido em 1 de Abril de 2014].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787813000047>

GUSMÃO, M. (2010) – Evolução actual do litoral foz do Lizandro – Malhadinha. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Departamento de Geografia, Universidade de Lisboa, 128 p.

GUSTAFSON, E. (1998) – Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems*, Vol. 12, Nº 12: 143-156. [Acedido em 3 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/3ll45qyr9fc2grvv/fulltext.pdf>

HAFNEY, D. (2008) - Local Geodiversity Action Plans: A review of progress in England. *Natural England Research Reports*, Number 027. [Acedido em 29 de Abril de 2010].
<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/NERR027>

HAYDEN, B.; SANTOS, M.; SHAO, G.; KOCHER, R. (1995) - Geomorphological controls on coastal vegetation at the Virginia Coast Reserve. *Geomorphology*, Vol. 13, Issues 1-4: 283-300. [Acedido a 24 de Abril de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169555X9500032Z>

HAMILTON, A. (2005) - Species diversity or biodiversity? *Journal of Environmental Management*, Vol. 75, Issue 1: Pages 89-92. [Acedido em 11 de Março de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479705000149>

HJORT, J. & LUOTO, M. (2010) – Geodiversity of high-latitude landscapes in Northern Finland. *Geomorphology* 15, Vol. 115, Issues 1-2: 109-116. [Acedido em 3 de Março de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X09004140>

HJORT, J. & LUOTO, M. (2012) – Can geodiversity be predicted from space?. *Geomorphology*, 153-154: 74-80. [Acedido em 1 de Abril de 2014].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X12000839>

HUMPHRIES, R. & DONNELLY, L. (2004) - Geological conservation benefits for biodiversity. *English Nature Research Reports*, No. 561. [Acedido em 29 de Abril de 2010].
<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/R561>

IBÁÑEZ, J.; De-ALBA, S.; BERMÚDEZ, F.; GARCÍA-ÁLVAREZ, A. (1995) – Pedodiversity: concepts and measures. *Catena*, Vol. 24, Issue 3: 215-232. [Acedido em 15 de Abril de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/034181629500028Q>

IBÁÑEZ, J.; De-ALBA, S.; LOBO, A.; ZUCARELLO, V. (1998) - Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales. *Geoderma*, Vol. 83, Issues 3-4: 171-192. [Acedido em 21 de Abril de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001670619700147X>

JAMIESON, D. (2003) – *Manual de Filosofia do Ambiente* (Trad.). Coleção Perspectivas Ecológicas, INSTITUTO PIAGET, 523pp.

JAČKOVÁ, K. & ROMPORTL, D. (2008) – The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Krivoklátsko Pla (Czech Republic): A quantitative analysis approach. *Journal of Landscape Ecology*, Vol. 1, N^o 1: 24-38. [Acedido em 2 de Março de 2010].
http://www.iale.cz/downloads/JLE_1/23-38.pdf

JERIE, K.; HOUSHOLD, I.; PETERS, D. (2001) - Stream diversity and conservation in Tasmania: yet another new approach; in: (Proceedings of) 3rd Australian Stream Management Conference, CRC for Catchment Hydrology, Melbourne, p. 329 - 335. [Acedido a 24 de Maio de 2010]
[http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-5893ZE/\\$FILE/stream_diversity.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON-5893ZE/$FILE/stream_diversity.pdf)

JIMÉNEZ, A.; MONDÉJAR, F.; GOMÉZ, E. (2003) – La geodiversidad : un componente esencial en las estrategias para la conservación del medio natural. Su relación con la biodiversidad. Instituto Geológico y Minero de España. ISBN 84-7840-497-X: 97-106. [Acedido em 30 de Abril de 2010].
<http://datos.alhamademurcia.es/descargas/BIO-GEODIVERSIDAD%20-%20art%C3%ADculo%20Francisco%20Guill%C3%A9n.pdf>

JOHANSSON, C.; ANDERSEN, S.; ALAPASSI, M. (1999) - Geodiversity in the Nordic Countries. *ProGeo Newsletter* 1: 1-3. [Acedido em 30 de Abril de 2010].
<http://www.sgu.se/hotell/progeo/news/1999/pgn199.pdf>

JONIN, M. & GRAVIOU, P. (2008) – *Géodiversité en Bretagne, un patrimoine remarquable. Géosciences*, N^o 7/8 : 56-63. [Acedido em 19 de Maio de 2010].
<http://www.brgm.fr/dcenewsFile?ID=584>

KHAIEQUZZAMAN, M. (1993) – Farakka Barrage: History, Impact and Solution. [Acedido em 6 de Setembro de 2010]. <http://www.lhup.edu/>

KIM, J. & SCHWOBBERMEYER, H. (1999) – A comparative analysis of biodiversity measures. *Advances in Artificial Life*, Vol. 1674: 119-128. [Acedido a 4 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/tml3i57213131h96/fulltext.pdf>

KRASILNIKOV, P.; CALDERON, N.; IBAÑEZ HERTA, A. (2009) – Pedodiversity in mountainous tropical semideciduous forests of Sierra Madre Del Sur, Mexico. *Eurasian Soil Science*, Vol. 42, N^o 13: 1435-1442. [Acedido em 5 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/t4p5237784m65530/fulltext.pdf>

KOT, R. (2005) – The evaluation of the climate geodiversity on the example of the Fordon part of the Lower Vistula Valley and its environs on 1: 25 000 scale. [Acedido em 22 de Junho de 2010].

In: The Spatial – Functional Structure of Landscape. Red. Adolf Szponar, Sylwia Horska – Schwarz, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław
http://paek.ukw.edu.pl/wydaw/vol17/Rafal_Kot.pdf

KOZIRAKI, M. (2007) – Exploring the Topiography of Knossos Area in Crete: A Mediterranean Landscape . *In* Zoran *et al* (ed.) European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond. Edições Universitárias Lusófonas: 85-91.

KOZLOWSKI, S. (2004) - Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przeгляд Geologiczny* 52(8/2): 833–837. [Acedido em 30 de Março de 2010].
http://www.pgi.gov.pl/pdf/pg_2004_08_2_22a.pdf

KULLBERG, J. (2000) – Evolução Tectónica da Bacia Lusitaniana. Tese de doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, 361 p.

KULLBERG, J.; ROCHA, R.; SOARES, A.; REY, J.; TERRINHA, P.; CALLAPEZ, P.; MARTINS, L. (2006) . A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. *In* Geologia de Portugal no contexto da Ibéria (R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. C. Kullberg, Eds.) Universidade de Évora: 317-368.

LAWRENCE, D.; ARKLEY, S.; EVEREST, J.; CLARKE, S.; MILLWARD, D.; HYSLOP, E.; THOMPSON, G.; YOUNG, B. (2007) - *Geodiversity Audit and Action Plan*. Comissioned report. Northumberland National Park. [Acedido em 29 de Abril de 2010].
http://www.northumberlandnationalpark.org.uk/geodiversityaudit_lo.pdf

LARWOOD, J.; BADMAN, T.; MCKEEVER, P. (2013) – The progress and future of geoconservation at a global level. *Proceedings of the Geologists Association*, 124: 720-730. [Acedido em 1 de Abril de 2014].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787813000308>

LEHOUCK, A.; VANSLEMBROUCK, N.; GELORINI, V.; SOENS, T.; THOEN, E; VERVLOET, J. (2007) – Reconstructing disappeared landscapes of wet áreas: western sealand flanders. *In* Zoran *et al* (ed.) European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond. Edições Universitárias Lusófonas: 231-241.

LÉVÊQUE, C. (2001) – Ecologia: Do ecossistema à biosfera. Coleção Perspectivas Ecológicas, INSTITUTO PIAGET, 572 p..

LOBÃO, J.; ROCHA, W.; SILVA, A. (2011) – Geoprocessamento na modelagem da vulnerabilidade natural à erosão no município de Morro do Chapéu – BA. *Revista Brasileira de Cartografia*, Nº 63: 101-114.

MAHANEY, W.; DIRSZOWSKY, R.; MILNER, M.; HARMSSEN, R.; FINKELSTEIN, S.; KALM, V.; BEZADA, M.; HANCOCK, R. (2007) - Soil stratigraphy and plant–soil interactions on a Late Glacial–Holocene fluvial terrace sequence, Sierra Nevada National Park, northern Venezuelan Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 23, Issue 1: 46-60. [Acedido em 24 de Março de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981106001015>

MANOSSO, F. (2012) – Potencialidades da Paisagem na região da Serra do Cadeado-PR: Abordagem metodológica das relações entre a estrutura geoecológica, a geodiversidade e o geoturismo. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Paraná, Brasil, 183 pp. [Acedido em 12 de Março de 2013].

<http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?module=Files/FileDescription&ID=6964&state=FD>

MANUPPELLA, G.; FERREIRA, A.; DINIS, J. & CALLAPEZ, P.; RIBEIRO, M.; PAIS, J.; REBÊLO, L.; CABRAL, J. & MONIZ, C.; BAPTISTA, R.; HENRIQUES, P. & FALÉ, P.; LOURENÇO, C.; SAMPAIO, J. & MIDÕES, C.; ZBYSZEWSKI, G.; MONIZ, C. & RIBEIRO, M. (2011) - Carta geológica de Portugal na Escala de 1: 50 000. Notícia Explicativa da Folha 34-B (Loures), Serviços Geológicos de Portugal, 57 p.

MARCEAU, D. (1999) - The scale issue in social and natural sciences. *Canadian Journal of Remote Sensing* 25 (4), 347–356 [Acedido em 20 de Janeiro de 2011].

http://www.geog.umontreal.ca/gc/people/danielle/..%5C..%5CPDFs%5CSMF_scale.htm

MARI, S.; FERNANDA, G.; CÉSAR, M. (2009) – A geodiversity map: Geological-tourist map of Calamuchita´s Valley, Cordoba, Argentina. *In*: Proceedings of the 24th I.C.C., 15th to 21th of November, Santiago, Chile. [Acedido em 2 de Março de 2010].

http://cartography.tuwien.ac.at/ica/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/23_4.pdf

MARGULES, C.; PRESSEY, R.; WILLIAMS, P. (2002) - Representing biodiversity: data and procedures for identifying priority areas for conservation. *Journal of Biosciences*, Vol. 27, N^o 4: 309-326. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/64172m426810h07w/fulltext.pdf>

MARTINS, F. & SANTOS, F. (1999) – Técnicas usuais de estimativa da biodiversidade. *Revista Holos* 1: 236-267. [Acedido em 10 de Março de 2010]

<http://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/refer/Holos-1999-1-236.pdf>

MARSTON, R. (2010) - Geomorphology and vegetation on hillslopes: Interactions, dependencies, and feedback loops. *Geomorphology*, Vol. 116, Issues 3-4: 206-217. [Acedido em 24 de Março de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X09004036>

MATA-PERELLÓ; LLEONART, R.; SOLANÍ, J. (2004) – Las obras públicas de las vías de comunicación como generadoras de la visualización del patrimonio geológico. El Patrimonio Geológico: Cultura, Turismo y Medio Ambiente. Actas V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico, S. G. E. F.: 233-238.

MAZARIS, A.; KALLIMANIS, A.; SGARDELIS, S.; PANTIS, J. (2008) - Does higher taxon diversity reflect richness of conservation interest species? The case for birds, mammals, amphibians, and reptiles in Greek protected areas. *Ecological Indicators*, Vol. 8, Issue 5: 664-671. [Acedido a 4 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X0700115X>

MEILLEUR, A.; BOUCHARD, A.; BERGERON, Y. (1994) - The relation between geomorphology and forest community types of the Haut-Saint-Laurent, Quebec. *Plant Ecology*, Vol. 111, Nº 2: 173-192. [Acedido em 30 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/h732661621298qg2/fulltext.pdf>

MENGHI, M.; CABIDO, M.; PECO, B.; PINEDA, F. (1989) - Grassland heterogeneity in relation to lithology and geomorphology in the Córdoba Mountains, Argentina. *Plant ecology*, Vol. 84, Issue 2: 133-142. [Acedido em 15 de março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/t7u7kl36n8573k46/fulltext.pdf>

MINÁR, J. & EVANS, I. (2008) – Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, Vol. 95: 236-259. [Acedido em 15 de Abril de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X07003030>

MOLDOVAN, O.; PIPAN, T.; IEPURE, S.; MIHEVC, A.; MULEC, J. (2007) – Biodiversity and ecology of fauna in percolating water in selected slovenian and romanian caves. *Acta Carsologica*, Vol. 36, Issue 3: 493-501. [Acedido em 28 de Março de 2011].

<http://carsologica.zrc-sazu.si/downloads/363/14moldovan.pdf>

MOREIRA, A. (2009) - O Património Geomorfológico do Vale da Ribeira Principal (Parque Natural da Serra da Malagueta, Ilha de Santiago, Cabo Verde), Avaliação e Propostas de Valorização, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Lisboa, Lisboa, 218 p.

MOSER, D.; ZECHMEISTER, G.; PLUTZAR, C.; SAUBERER, N. ; WRBKA, T. ; GRABHERR, G. (2002) - Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscapes. *Landscape Ecology* 17: 657–669. [Acedido em 15 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/u625728678465466/fulltext.pdf>

MOTA, J.; MEDINA-CAZORLA, J.; NAVARRO, F.; PÉREZ-GARCIA, F.; PÉREZ-LATORRE, A.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, P.; TORRES, J.; BENAVENTE, A.; BLANCA, G.; GIL, C.; LORITE, J.; MERLO, M. (2008) – Dolomite flora of the Baetic Ranges glades (South Spain). *Flora*, Vol. 203: 359-375. [Acedido em 28 de Março de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253008000352>

MULLER, R.; NOWICKI, C.; BARTHLOTT, W.; IBISCH, P. (2003) - Biodiversity and endemism mapping as a tool for regional conservation planning – case study of the Pleurothallidinae (Orchidaceae) of the Andean rain forests in Bolivia. *Biodiversity and Conservation*, Vol. 12, Nº 10: 2005-2024. [Acedido a 5 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/j8h12224w037g445/fulltext.pdf>

MUSILA, W.; TODT, H.; USTER, D.; DALITZ, H. (2005) – Is geodiversity correlated to biodiversity? A case study of the relationship between spatial heterogeneity of soil resources and tree diversity in a Western Kenyan rainforest. *B.A. Huber et al. (eds.), African Biodiversity*, 405–414. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://www.springerlink.com/content/w278408581047757/fulltext.pdf>

NIETO, L. (2001) – Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 112, Nº 2: 3-12.

NIETO, L. (2004) - *Aproximacion al concepto de geodiversidade. In: MONDEJAR, G; REMO, A. El patrimonio geológico: Cultura, Turismo y Médio Ambiente. Actas V Reunion Nacional de la Comision de Patrimonio Geológico. Madrid: 117- 123.*

NIETO, L.; LORENTE, F.; MONDEJAR, F.; MARTÍNEZ, E. (2006) – Estado actual de la legislación para la geoconservación en España. *Trabajos de Geología*, Univ. de Oviedo, 26 : 187-201. [Acedido em 4 de Março de 2010].

http://content.ebscohost.com/pdf19_22/pdf/2006/2ZU1/01Dec06/27014655.pdf?T=P&P=AN&K=27014655&EbscoContent=dGJyMNxb4kSeprE4y9fwOLCmr0iep65Srq64TLswXWS&ContentCustomer=dGJyMOzprkiuqLdluePfgex%2BEu3q64A&D=a9h

NIKOLAIDIS, E. & DIMITRIOU, A. (2007) – Landscape restoration with regard to the water level drop of lake doirani. *In Zoran et al (ed.) European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond. Edições Universitárias Lusófonas: 221-228.*

OLDELAND, J.; WESULS, D.; ROCCHINI, D.; SCHMIDT, M.; JURGENS, N. (2010) - Does using species abundance data improve estimates of species diversity from remotely sensed spectral heterogeneity? *Ecological Indicators*, Vol. 10, Issue 2: 390-396. [Acedido a 4 de Março de 2010]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X09001241>

OLSON, D. & DINERSTEIN, E. (2002) – The global 200: priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, Volume 89, nº 2: 199-224. [Acedido em 4 de Fevereiro de 2011]. <http://www.worldwildlife.org/science/ecoregions/WWFBinaryitem4810.pdf>

ONDICOL, R. (2012) – Geomorfología, paleoambiente cuaternario y geodiversidad en el macizo de Fuentes Carrionas-Montaña Palentina. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía, Espanha, 1065 pp. [Acedido em 15 de Julho de 2013]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/2495>

PAGE, K. (2010) – World heritage “for sale” – state supported trade in global palaeontological heritage in Dorset, UK – and its consequences. Abstracts Volume, 6th International Symposium on Conservation of Geological Heritage, Hagen, p. 77.

PAGE, K. & MELÉNDEZ, G. (2010) – Impact of large-scale tourism-related development on the geodiversity of a high mountain area, Central Pyrenees, Huesca Province, Spain. *Geoevents, Geological Heritage, and the role of the IGCP*. Abstracts Volume: 234-236.

PANIZZA, M. (2007) - Geodiversity, Geological Heritage and Geotourism. Workshop Abstracts “Geomorphosites, Geoparks and Geotourism”, Lesvos, Greece, p. 30.

PARKS, K. & MULLIGAN, M. (2010) - On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. *Biodiversity and Conservation*, 19: 9, 2751 – 2766. [Acedido em 2 de Novembro de 2011]. <http://www.springerlink.com/content/73nv402473x711110/fulltext.pdf>

PEARCE, D. & MORAN, D. (1994) – *O valor económico da biodiversidade* (Trad.). Coleção Economia e Política, INSTITUTO PIAGET.

PELLITERO, R.; GONZÁLEZ-AMUCHASTEGUI, M.; RUIZ-FLAÑO, P.; SERRANO, E. (2010) - Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage*, Vol. 3, Issue 3: 163-174.

PEMBERTON, M. (2000) – Conserving Geodiversity, the importance of valuing our geological heritage. [Acedido a 11 de Abril de 2010] [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON57W5Z5/\\$FILE/geocon_abstract.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON57W5Z5/$FILE/geocon_abstract.pdf)

PEREIRA, P. (2006) – Património geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Natural de Montesinho. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 370 p. + 2 mapas + CD-ROM.

PEREIRA, D. (2007) – Análise das características gerais e do valor intrínseco da geomorfologia das áreas protegidas de Portugal Continental. III Congresso Nacional de Geomorfologia – Dinâmicas geomorfológicas. Metodologias. Aplicação. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. V, APGeom: 2221-233.

PEREIRA, D. ; PEREIRA, P.; BRILHA, J.; SANTOS, L. (2013) – Geodiversity Assessment of Paraná State (Brazil): An Innovative Approach. *Environmental Management* 52: 541-552. [Acedido a 29 de Abril de 2014].

<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00267-013-0100-2.pdf>

PEREIRA, E.; AZEVEDO, Ú.; ONDICOL, R. (2013) – Modelagem da geodiversidade na Área de Proteção Ambiental Sul da região metropolitana de Belo Horizonte – MG. *Geonomos*, 21 (2): 97-101. [Acedido a 9 de Janeiro de 2014].

<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/277/248>

PINHO, J.; LOURO, G.; PAULO, S. (2006) – Recuperação das áreas ardidas em Portugal e a gestão do fogo: a experiência da equipa de reflorestação (2004-2005). In: Pereira, J.; Pereira, J.; Rego, F.; Silva, J.; Silva, T. (ed.) Incêndios Florestais em Portugal – Caracterização, Impactes e Prevenção, ISAPress: 467-494.

PLANO DIRECTOR MUNICIPAL DE MAFRA (2009) – Processo de revisão: estudos de caracterização do território municipal – caracterização física. [Acedido a 28 de Novembro de 2013].

http://www.cm-mafra.pt/files/Ordenamento_Territorio/pdm/Capll.pdf

PLANO MUNICIPAL DE DEFESA DA FLORESTA CONTRA INCÊNDIOS (2007) – Concelho de Mafra. Comissão Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. [Acedido a 6 de Julho de 2012].

http://www.cm-mafra.pt/files/Proteccao_Civil/planomunicipaldefesal.pdf

POOLE, J.; HIGGS, J.; HARRIS, K. & BIRCH, J. (2010) - *Geodiversity Action Plans: The use of indicators in progress reporting*. Natural England Commissioned Reports, Number 051. 43 pp. [Acedido em 28 de Setembro de 2010].

<http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/product.aspx?ProductID=1d6e1224-1af1-4f35-90e6-23023fb15452>

PRIMA, O.; ECHIGO, A.; YOKOYAMA, R.; YOSHIDA, T. (2006) – Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. *Geomorphology*, Vol. 78: 373-386. [Acedido em 15 de Abril de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06000791>

PROSSER, C. (2002) – Terminology: speaking the same language. *Earth Heritage*, 18: 24-25.

PROSSER, C.; BRIDGLAND, D.; BROWN, E.; LARWOOD, J. (2011) – Geoconservation for science and society: challenges and opportunities. *Proceedings of the Geologists Association*, 122: 337-342. [Acedido em 1 de Abril de 2014].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787811000083>

QVISTROM, M. & SALTZMAN, K. (2007) –Ephemeral landscapes at the rural-urban fringe. *In Zoran et al* (ed.) *European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond*. Edições Universitárias Lusófonas: 165-172.

RAMALHO, M.; PAIS, J.; REY, J.; BERTHOU, P.; ALVES, C.; PALÁCIOS, T.; LEAL, N.; KULLBERG, M. (1993) - Carta geológica de Portugal na Escala de 1: 50 000. Notícia Explicativa da Folha 34-A (Sintra), Serviços Geológicos de Portugal, 77 p.

REBOLEIRA, S. (2011) – On the Iberian endemic subgenus *Lathromene* Koch (Coleoptera: Staphylinidae: Paederinae): description of the first hypogean *Domene* Fauvel, 1872 from Portugal. *Zootaxa* 2780: 48-56. [Acedido a 11 de Maio de 2013]

<http://www.mapress.com/zootaxa/2011/f/z02780p056f.pdf>

REIMOLD, W. (2005) - Geovandalism in South Africa: The Debate, and What Action is Required?. School of Geosciences, University of the Witwatersrand. [Acedido a 19 de Abril de 2010]

<http://www.gssa.org.za/index.php?name=News&file=article&sid=4>

REINHARDT, L.; JEROLMACK, D.; CARDINALE, B.; VANACKER, V.; WRIGHT, J. (2010) - Dynamic interactions of life and its landscape: feedbacks at the interface of geomorphology and ecology. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 35, Issue 1: 78-101. [Acedido a 5 de Março de 2010].

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/123264363/PDFSTART>

RESTALLACK, G. (2001) – Soils of the past: An introduction to paleopedology. Blackwell Science. USA, 404 p.

REUTER, H.; WENDROTH, O.; KERSEBAUM, K. (2006) – Optimisation of relief classification for different levels of generalisation. *Geomorphology*, Vol. 77: 79-89. [Acedido em 15 de Abril de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06000043>

- RIBEIRO, O. (2001) – Paisagens, Regiões e Organização do Espaço. *Finisterra*, XXXVI, 72: 27-35.
- ROCHA, A. (1990) – Sequências carbonáticas da Formação Caboclo na Folha Morro do Chapéu. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, Brasil: 49-65. [Acedido em 30 de Julho de 2011].
http://sbgeo.org.br/pub_sbg/cbg/1990-NATAL/
- ROCHA, A. (org.) (1997) – Morro do Chapéu, Folha SC.Y-C-V: Estado da Bahia. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, CPRM, 148 p.
- ROCHA, D. (2008) – Inventariação, caracterização e avaliação do património geológico do concelho de Arouca. Tese de Mestrado. Escola de Ciências, Universidade do Minho.
- ROCHA, I; VIEIRA, D.; PIMENTA, N. (2008) – Legislação Fundamental do Ambiente. Porto Editora, 104 p.
- RODRIGUES, M. & FONSECA, A. (2008) – A valorização do geopatrimónio no desenvolvimento sustentável de áreas rurais. Actas do VII Colóquio Ibérico de Estudos Rurais – Cultura, Inovação e Território, 23-25 de Outubro, Coimbra, Portugal.
- ROJAS, J. (2005) - Los desafios del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana* 46, 1: 143-152. [Acedido em 5 de Maio de 2010].
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24639/2/nota2.pdf>
- ROSS, J. (1992) - O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, nº 6: 17-29. [Acedido em 7 de Janeiro de 2012]. <http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/245/224>
- ROUSSEAU, R. & VAN HECKE, P. (1999) – Measuring biodiversity. *Acta Biotheoretica*, Vol. 47, Nº 1: 1-5. [Acedido em 4 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/x14671rpw85g2313/fulltext.pdf>
- RUBAN, D. (2010) – Quantification of geodiversity and its loss. Proceedings of the Geologists Association, Vol. 121, Issue 3: 326-333.
- SAATCHI, S.; BUERMANN, W.; STEEGE, H.; MORI, S.; SMITH, T. (2008) – Modeling distribution of amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. *Remote Sensing of Environment* Vol. 112, Issue 5, 15: 2000-2017. [Acedido em 4 de Março de 2010].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425708000254>

SAI, L. & MARAFA, L. (2009) – *Geodiversity, geoconservation and sustainable development of Hong Kong*. Department of Geography and Resource Management of the Chinese University of Hong Kong. [Acedido em 19 de Maio de 2010].

<http://www.cedb.gov.hk/citb/psdas/content/doc/2007-3-04/Paper07%20-%202007-3-4.pdf>

SALDAÑA, A. & IBÁÑEZ, J. (2004) - Pedodiversity analysis at large scales: an example of three fluvial terraces of the Henares River (central Spain). *Geomorphology*, Vol. 62, Issues 1-2: 123-138. [Acedido em 9 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X04000741>

SALAS-GONZÁLEZ, R.; SILVA, R.; FIDALGO, B. (2005) – Quantificação da Biodiversidade em Áreas Florestais Peri-Urbanas com Povoamentos Adultos: Teste de Indicadores de Gestão. [Acedido em 30 de Julho de 2010]. <http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T2-23.pdf>

SALGUEIRO, T. (2001) – Paisagem e Geografia. *Finisterra*, XXXVI, 72: 37-53.

SAMPAIO, A. (org.) (1998) – Jacobina, Folha SC.24-Y-C: Estado da Bahia. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, CPRM, 77 p.

SANTISTEBAN, C. (2004) – El parque geológico de Chera (Valencia) como modelo de protección del patrimonio geológico para la promoción del desarrollo rural y turístico. El Patrimonio Geológico: Cultura, Turismo y Medio Ambiente. Actas V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico, S. G. E. F.: 51-55.

SANTUCI, V. (2005) - Historical Perspectives on Biodiversity and Geodiversity, *Geodiversity & Geoconservation*, 22(3): 29–34.

SARKAR, S.; PRESSEY, R.; FAITH, D.; MARGULES, C.; FULLER, T.; STOMS, D.; MOFFETT, A.; WILSON, K.; WILLIAMS, K.; WILLIAMS, P.; ANDELMAN, S. (2006) - Biodiversity conservation planning tools: Present Status and Challenges for the Future. *Annual Review of Environment and Resources*, Vol. 31, Issue 1: 123-159. [Acedido em 4 de Março de 2010].

<http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.energy.31.042606.085844>

SCHMIDT, L.; GIL NAVE, J.; GUERRA, J. (2005) – Autarquias e Desenvolvimento Sustentável, Agenda 21 Local e Novas Estratégias Ambientais. Fronteira do Caos Editores Lda e Autores, Porto, 154 p.

SCHMIDT, J. & HEWITT, A. (2004) – Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, Vol. 121: 243-256. [Acedido em 26 de Abril de 2011].

<http://home.shirazu.ac.ir/~kompani/geomorphology/geomorphology-lec-papers-mehr88/schmidt-fuzzylandsurfaceclassifi-geoderma2004.pdf>

SCHMIDT, J. & PRESTON, N. (2003) – Towards quantitative modelling of landform evolution through frequency and magnitude of processes: a model conception. *Concepts and modelling in geomorphology: international perspectives*, Eds. I. S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori and M. Hirano, pp. 115–129.

SCOTT, P.; SHAIL, R.; ROCHE, D.; NICHOLAS, C.; ROCHE, D. (2007) - The Geodiversity Profile Handbook. David Roche Geo Consulting, Exeter, UK. 60pp. [Acedido em 20 de Julho de 2010]. http://www.sustainableaggregates.com/docs/theme3/miro_ma_5_2_001b.pdf

SERRANO, S. & FLAÑO, P. (2007) – Geodiversity: Concept, assessment and territorial application. The case of Tiermes-Caracena (Soria). *Boletín de la A.G.E.* Nº 45: 389-393. [Acedido em 2 de Março de 2010]. <http://age.ieg.csic.es/boletin/45/19-geodiversity.pdf>

SHARPLES, C. (2002) – Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks & Wildlife Service. [Acedido a 19 de Abril de 2007] [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/Attachments/SJON57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)

SIART, C.; BUBENZER, O.; EITEL, B. (2009) – Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*, Vol. 112: 106-121. [Acedido em 15 de Abril de 2011]. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X09002189>

SILVA, J. (2012) – Avaliação da diversidade de padrões de canais fluviais e da geodiversidade na Amazônia – aplicação e discussão na bacia hidrográfica do Rio Xingu. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, Brasil, 277 p.

SILVA, P. (2007) – Inventariação do Património geológico do concelho de Vieira do Minho e sua utilização com fins didácticos. Tese de Mestrado. Escola de Ciências, Universidade do Minho.

SILVA, P.; RODRIGUES, J.; CATANA, M.; PEREIRA, P. (2006) – Impactes de parques eólicos no património geomorfológico: o caso da Serra da Cabreira. VII Congresso Nacional de Geologia, pp. 985-988.

STACE, H & LARWOOD, J. (2006) - *Natural foundations: geodiversity for people, places and nature*. Peterborough: English Nature. ISBN 1 85716 900 X. [Acedido em 29 de Abril de 2010]. <http://naturalengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/Corp21>

STALLINS, J. (2006) - Geomorphology and ecology: Unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology*, Vol. 77, Issues 3-4: 207-216. [Acedido em 9 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06000122>

STOJANOVIC, V. & MIJOVIC, D. (2008) – Evaluation of geodiversity of the Western Backa Danube region in the planning documents and opportunities for improvement. Geographical Institute “Jovan Cvijic” Sasa. Collection of papers, N°58: 5-16. [Acedido em 25 de Maio de 2010].

http://www.gi.sanu.ac.rs/pdfzr/GIJC_ZR_58_001_V.Stojanovic_D.Mijovic_20081212_eng.pdf

STRAHLER, A. & STRAHLER, A. (2002) – Physical Geography: Science and Systems of the Human Environment. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBORGER, K.; WICHMANN, M.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. (2004) - Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31: 79–92. [Acedido em 15 de Março de 2010].

http://thecity.sfsu.edu/~wow/index_page/Tews2004JB.pdf

THOMPSON, A., POOLE, J.; CARROLL, L.; FOWERAKER, M.; HARRIS, K., & COX, P. (2006) - *Geodiversity Action Plans for Aggregate Companies: A Guide to Good Practice*. Report to the Mineral Industry Research Organisation. Published by Capita Symonds Ltd, East Grinstead. [Acedido em 19 de Outubro de 2010].

http://www.cgaps.org.uk/docs/cGAPs%20GGP_Capita%20Symonds_2006.pdf

TOOMANIAN, N.; JALALIAN, A.; KHADEMI, H.; EGHBAL, M.; PAPRITZ, A. (2006) - Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, Vol. 81, Issues 3-4: 376-393. [Acedido a 9 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06001620>

TORRES, M. (2008) – Inventariação, caracterização e quantificação do património geológico do Parque Arqueológico do Vale do Côa (PAVC). Tese de Mestrado. Escola de Ciências, Universidade do Minho.

TSVETKOVA, B. (2005) - Geodiversity, use of georesources and geoconservation in Bulgaria [Acedido a 2 de Maio de 2010].

<http://www.faculty.iubremen.de/course/spring05/c210111/Labreport%20BTsetkova.doc>

TRIMBLE, S. & MENDEL, A. (1995) – The cow as a geomorphic agent – A critical review. *Geomorphology*, Vol. 13, Issues 1-4: 233-253. [Acedido em 2 de Setembro de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0169555X95000284>

TRUEBA, J. (2007) - *El Macizo Central de los Picos de Europa: geomorfología y sus implicaciones geoecológicas en la alta montaña cantábrica*. Tesis Doctorales, Geografía, Universidad de Cantabria, 819 p. [Acedido em 30 de Abril de 2010].

http://www.tesisenred.net/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0327107-134858/6de9.JJGT_cap6.pdf

VAN DEN ANCKER, J. (2006) – Soils and soil systems related to geoheritage and geodiversity. International Conference „Geoheritage for Sustainable Development“, May 27–30, Druskininkai, Lithuania: Volume of Abstracts / Eds.: J. Satkūnas, A. Grigienė; IUGS Commission GEM, ProGEO, Lithuanian Geological Survey, Polish Geological Institute, Lithuanian Institute of Geology and Geography. – Vilnius: 5-6.

VELHO, J. (2006) – *Os recursos minerais. Uma visão geo-histórica*. Palimage Editores, Braga, 476 p.

VERNICOS, N.; DASCALOPOULOS, S.; PAPAGEORGIU, D.; PAPADOPOULOS, D. (2007) – Fragments of an archipelago: Aegean islets as human landscapes. *In Zoran et al* (ed.) European Landscapes and Lifestyles – The Mediterranean and Beyond. Edições Universitárias Lusófonas: 107-118.

WEBBER, M.; CHRISTIE, M.; GLASSER, N. (2006) - The social and economic value of the UK's geodiversity. *English Nature Research Reports*, No 709. [Acedido em 29 de Abril de 2010]. <http://naturallengland.etraderstores.com/NaturalEnglandShop/R709>

WIELEMAKER, W.; de BRUIN, S.; EPEMA, G.; VELDKAMP, A. (2001) - Significance and application of the multi-hierarchical landsystem in soil mapping. *Catena* 43, 15–34 [Acedido em 20 de Janeiro de 2011].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816200001211>

WILLIAM, F.; KILLINGBECK, K.; AUGUST; P. (1998) - The influence of geomorphological heterogeneity on biodiversity. II. A landscape perspective. *Conservation Biology* 12: 371-379.

WILLIS, S.; BUREK, C.; ALEXANDER, R. (2008) – Limestone pavements: Seeing the whole picture. *Earth heritage – The geological and landscape conservation magazine*. Issue 31: 18-19.

WHITELEY, M. & BROWNE, M. (2013) – Local geoconservation groups – past achievements and futura challenges. *Proceedings of the Geologists Association*, 124: 674-680. [Acedido em 1 de Abril de 2014].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787812000831>

WORTON, G. & GILLARD, R. (2013) – Local communities and young people – the future of geoconservation. *Proceedings of the Geologists Association*, 124: 681-690. [Acedido em 1 de Abril de 2014].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016787813000084>

World reference base for soil resources 2006: A Framework for international classification, correlation and communication (2006) – IUSS Working Group WRB, World Soil Resources Reports, Nº 103, FAO, Rome, 132pp. .[Acedido em 2 de Fevereiro de 2011].

<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr103e.pdf>

XAVIER-da-SILVA, J.; PERSSON, V.; LORINI, M.; BERGAMO, R.; RIBEIRO, M.; COSTA, A.; IERVOLINO & ABDO, O. (2001) – Índices de geodiversidade: aplicações de SGI em estudos de biodiversidade. *In: GARAY, I., DIAS, B. (Org.) Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais*. Ed. Vozes.

XUELEI, Z.; JIE, C.; GANLIN, Z.; MANZHI, T.; IBÁÑEZ, J. (2003) – Pedodiversity analysis in Hainan Island. *Journal of Geographical Sciences*, Vol. 13, Nº 2: 181-186. [Acedido em 4 de Março de 2010]. <http://www.springerlink.com/content/c7022827m8r66374/fulltext.pdf>

YEUNG, K. (2007) – *Geodiversity – A new challenge for nature conservation in Hong Kong*. Agriculture, Fisheries and Conservaton department. Government of the Hong Kong Special Administrative Region. [Acedido em 19 de Maio de 2010].

<http://hkiedg.org/HKIE/download/psdas/KM%20Yeung.pdf>

YARHAM, R. (2010) – *How to read the landscape – A crash course in interpreting the great outdoors*. HERBERT PRESS, London.

YEUNG, K. (2007) – *Geodiversity – A new challenge for nature conservation in Hong Kong*. Agriculture, Fisheries and Conservaton department. Government of the Hong Kong Special Administrative Region. [Acedido em 19 de Maio de 2010].

<http://hkiedg.org/HKIE/download/psdas/KM%20Yeung.pdf>

YOU, M.; VASSEUR, L.; RÉGNIÈRE, J.; ZHENG, Y. (2009) – The three dimensions of species diversity. *The Open Conservation Biology Journal*, Vol. 3: 82-88. [Acedido em 15 de Março de 2010].

<http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?module=Files/FileDescription&ID=4868&state=FVC>

ZAJAC, R. (2008) - Macro-benthic biodiversity and sea floor landscape structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 366, Issues 1-2: 198-203. [Acedido em 15 de Março de 2010].

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098108003468>

ZALIBEKOV, Z. (2006) - Investigation of soil diversity in the Terek–Kuma lowland. *Eurasian Soil Science*, Vol. 39, N^o 8: 921-927. [Acedido a 5 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/w2300014t520776h/fulltext.pdf>

ZBYSZEWSKI, G.; MOITINHO D´ALMEIDA, F.; TORRE DE ASSUNÇÃO, C. (1955) – Carta geológica de Portugal na Escala de 1: 50 000. Notícia Explicativa da Folha 30-C (Torres Vedras), Serviços Geológicos de Portugal, 31 p.

ZBYSZEWSKI, G. & TORRE DE ASSUNÇÃO, C. (1965) – Carta geológica de Portugal na Escala de 1: 50 000. Notícia Explicativa da Folha 30-D (Alenquer), Serviços Geológicos de Portugal, 31 p.

ZEIDE, B. (1997) – Assessing biodiversity. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 48, N^o 3: 249-260. [Acedido a 4 de Março de 2010].
<http://www.springerlink.com/content/w4227q26v7426k13/fulltext.pdf>

ZWOLINSKI, Z. (2004) – Geodiversity. In Goudie A. S. (ed.): *Encyclopedia of geomorphology*, Vol. 1: 417-418.

ZWOLINSKI, Z. (2009) - The routine of landform geodiversity map design for the Polish Carpathian Mts. *Landform Analysis*, Vol. 11: 77-85. [Acedido em 26 de Abril de 2010].
http://geoinfo.amu.edu.pl/sgp/LA/LA11/LA11_11.pdf

SÍTIOS URL

<http://www.pedologiafacil.com.br/classificacao.php>

<http://www.uef.fi/need>

<http://www.need.is/iceland>

<http://www.ukgap.org.uk/>

<http://www.geoconservation.com/>

<http://gni.globalnames.org/>

<http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ap/nac/mon-natur>

<http://mczbase.mcz.harvard.edu/>

<http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/sistema-carta-della-natura>

<http://crystal.isgs.uiuc.edu/maps-data-pub/publications/beg-fossils/>

http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm

<http://whc.unesco.org/en/list>

http://ec.europa.eu/environment/soil/three_en.htm

<http://www.regjeringen.no/en/doc/laws/Acts/nature-diversity-act.html?id=570549>

<http://geossitios.progeo.pt/>

<http://www.npapa.org.uk/>

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=1339&sid=9>
<http://www.icn.pt/sipnat/>
<http://www.glosgeotrust.org.uk/sites.shtml>
<http://www.globalgeopark.org/>
<http://jncc.defra.gov.uk/page-1377>
<https://www.gov.uk/protected-areas-sites-of-special-scientific-interest>
<http://bellona.org/news/climate-change/2010-08-comment-russias-2010-fire-catastrophes-could-be-repeated-what-can-be-done>

DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Cartas topográficas, geológicas, de solos e hidrográficas

PORTUGAL:

- Carta Militar de Portugal (formato Raster e Vectorial), 1: 25 000, folhas nº 374 (Torres Vedras), 388 (Ericeira - Mafra), 389 (Sobral de Monte Agraço), 402 (Mafra) (Eds. 4, 1992) e 403 (Bucelas – Loures) (Ed. 5, 2009), Instituto Geográfico do Exército.
- Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, folha 30-C (Torres Vedras), Serviços Geológicos de Portugal, 1955.
- Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, folha 30-D (Alenquer), Serviços Geológicos de Portugal, 1965.
- Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, folha 34-A (Sintra), Serviços Geológicos de Portugal, 1993.
- Carta Geológica de Portugal, 1:50.000, folha 34-B (Loures), Serviços Geológicos de Portugal, 2011.
- Carta Geológica de Portugal (formato Vectorial), 1: 25 000, folhas nº 374 (Torres Vedras), 388 (Ericeira - Mafra), 389 (Sobral de Monte Agraço), 402 (Mafra) e 403 (Bucelas – Loures).
- Carta corográfica de Portugal (formato raster), 1: 100 000, folha 30 – Mafra, Instituto Geográfico Português.
- Carta de Solos de Portugal (formato Vectorial), 1: 25 000, folhas nº 374 (Torres Vedras), 388 (Ericeira - Mafra), 389 (Sobral de Monte Agraço), 402 (Mafra) e 403 (Bucelas – Loures).

- Carta Corográfica de Portugal (formato Raster), 1: 100 000, folha nº 30 (Maфра)
- Carta Administrativa Oficial de Portugal 2013 (CAOP), Instituto Geográfico Português.

BRASIL:

- Carta Hidrográfica do Brasil (formato Vectorial), 1: 100 000, folhas nº 1723 (Camirim), 1724 (Umburanas), 1725 (Mirangaba), 1785 (Irecê), 1786 (América Dourada), 1787 (Jacobina), 1833 (Rio Palmeiras), 1841 (Barra do Mendes), 1842 (Canarana), 1843 (Morro do Chapéu), 1844 (Piritiba), 1851 (Ibitiara) e 1897 (Ouricuri do Ouro), Base Cartográfica Digital, Superintendência de Estudos Económicos e Sociais da Bahia.
- Cartografia geológica, geomorfológica, litológica, topográfica e de solos do Município de Morro do Chapéu (formato vectorial), 1: 100 000. Projecto Mapas Municipais de Morro do Chapéu, Serviço Geológico do Brasil, 1995.
- Cartas geológicas: Folha Jacobina – SC.24-Y-C - Escala 1: 250 000; Folha Morro do Chapéu – SC.24-Y-C-V. Escala 1: 100 000.

ANEXOS

Anexo 6.01 - Mapa Geomorfológico de Mafra

Anexo 6.02 - Bacias Hidrográficas de Mafra

Anexo 6.03 - Mapa de Solos de Mafra

Anexo 6.03B - Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal

Anexo 6.04 - Mapa Geológico de Mafra

Anexo 6.05 - Mapa Geomorfológico de Morro do Chapéu

Anexo 6.06 - Mapa de Tipos de Relevo de Morro do Chapéu

Anexo 6.07 - Mapa de Solos de Morro do Chapéu

Anexo 6.07B - Legenda detalhada do Mapa de Solos de Morro do Chapéu

Anexo 6.08 - Bacias Hidrográficas de Morro do Chapéu

Anexo 6.09 - Mapa Geológico de Morro do Chapéu

Anexo 6.09B - Legenda detalhada do Mapa Geológico de Morro do Chapéu

Anexo 6.10 - Tabelas referentes à análise estatística relativa à Geologia, Geomorfologia e Solos dos municípios de Mafra e Morro do Chapéu

Anexo 7.01 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC10

Anexo 7.02 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC20

Anexo 7.03 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC30

Anexo 7.03B - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC30

Anexo 7.04 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC40

Anexo 7.04B - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC40

Anexo 7.05 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_NC50

Anexo 7.06 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_C10

Anexo 7.07 - Distribuição da Geodiversidade em Mafra: teste clip_C20

Anexo 7.08 - Mapa de ocorrência de fósseis em Mafra

Anexo 7.09 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipncbr_10

Anexo 7.10 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipncbr_20

Anexo 7.11 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipncbr_30

Anexo 7.11B - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipncbr_30

Anexo 7.12 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipncbr_40

Anexo 7.13 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipcbr_10

Anexo 7.14 - Distribuição da Geodiversidade em Morro do Chapéu: teste clipcbr_20

Anexo 7.15 - Mapa de ocorrência de fósseis em Morro do Chapéu